



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학박사학위논문

택지개발사업 생태계서비스 평가모형 개발
및 적용

- 4개 보금자리주택지구를 사례로 -

The Development and Application of
Ecosystem Services Assessment Model for
Housing Site Development Projects

- A case study on 4 Bogeumjari Residential Areas -

2014년 2월

서울대학교 대학원

협동과정 조경학 전공

구 미 현

택지개발사업 생태계서비스 평가모형 개발 및 적용

- 4개 보금자리주택지구를 사례로 -

지도교수 이 동 근

이 논문을 공학박사 학위논문으로 제출함

2013년 10월

서울대학교 대학원

협동과정 조경학 전공

구 미 현

구미현의 박사학위논문을 인준함

2014년 1월

위 원 장 _____ (인)

부 위 원 장 _____ (인)

위 원 _____ (인)

위 원 _____ (인)

위 원 _____ (인)

국 문 초 록

택지개발사업 생태계서비스 평가모형 개발 및 적용

- 4개 보금자리주택지구를 사례로 -

지도교수 : 이 동 근

서울대학교 대학원 협동과정 조경학 전공

구 미 현

생태계서비스는 생태계가 잘 유지됨으로써 인간에게 주어지는 다양한 혜택이라고 정의할 수 있다. 생태계서비스는 인간의 삶이 자연 속에서 조화롭게 유지될 수 있도록 하는 한편, 더 나아가 삶의 질을 향상시키는 데 중요한 역할을 한다. 개발로 인해 생태계가 훼손되면 생태계로부터 얻는 혜택이 줄어들면서 인간의 삶의 질도 떨어지게 된다. 생태계의 훼손은 주로 지구단위로 추진되는 개발사업에서 발생하기 때문에 개발계획의 수립단계에서부터 생태계의 훼손을 줄일 수 있는 방안을 마련하는 것이 필요하다. 생태계서비스의 관점에서 쾌적한 삶을 위해 반드시 필요한 것 중 하나가 주거지역 생태계의 질을 높이는 것이다. 이러한 점을 인식하여 우리나라는 이미 1977년부터 환경영향평가제도를 도입하여 개발에 따른 환경영향을 사전에 예측하고 생태계의 훼손을 낮출 수 있도록 노력하여 왔다. 그러나 환경영향평가제도의 운영만으로 생태계에 미치는 영향을 제대로 평가하는 데 한계가 있다. 만일 개발사업을 대상으로 실시하는 환경영향평가단계부터 개발 대상 주거지역의 생태계서비스를 평가하는 방안을 포함하여 추진한다면 이러한 문제점을 어느 정도 해소할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구의 목적은 택지개발에 따라 달라질 수 있는 생태계서비스의 상태 변화를 예측하고 그 변화를 정량적으로 평가할 수 있는 모형을 개발하는 것이다. 이를 위해 첫째, 택지개발사업 대상지에 적합한 생태계서비스 평가영역을 도출하고 평가지표를 개발하고자 한다. 둘째, 개발 전·후 생태계서비스의 상태변화를 분석

할 수 있는 평가모형을 개발하고 이를 사례대상지에 적용하여 분석하고자 한다. 셋째, 생태계서비스 평가가 실효성을 가지도록 환경영향평가와 연계방안을 제시하고자 한다. 이러한 평가모형은 지구개발에 따라 불가피하게 초래될 수 있는 생태계서비스의 하락을 방어하는 소극적 수단이 아니라 생태계서비스의 개선 및 확대를 도모할 수 있는 적극적인 방안이다. 따라서 이러한 평가모형을 잘 활용할 경우 일반지역 생태계의 가치를 창출하는 데 기여할 것으로 본다.

본 연구는 최근 수도권지역에서 시행되고 있는 보금자리주택지구를 대상으로 하였다. 해당 지구는 개발제한구역 내에 위치하여 자연환경과 도시민의 삶의 질에 대한 고려가 더욱 필요한 지역이므로 그 의미가 크다.

본 평가모형은 개발계획에 대한 생태계의 구조와 기능을 평가함에 있어서 네 가지 효용성을 갖는다. 첫째, 개발사업을 대상으로 생태계 기능에 대한 평가요소와 평가체계를 개발하여 생태계가 인간에게 제공하는 다양한 혜택을 평가할 수 있도록 하였다. 둘째, 개발사업의 시행으로 인한 생태계서비스 상태변화를 전·후 평가함으로써 개발사업이 생태계에 미치는 영향을 분석할 수 있도록 구조화하였으며 생태계서비스 증감요인을 용이하게 파악할 수 있도록 하였다. 셋째, 개발에 따른 생태계서비스 감소분을 감안한 일정수준 이상의 생태계서비스를 유지하기 위해서 개발 후 평가단계에서는 일률적인 평가기준을 적용하지 않고 대상지별 특성을 반영하여 차등기준을 적용할 수 있게 하였다. 마지막으로, 평가모형을 개발사업의 환경영향평가단계에서부터 적용할 수 있도록 하여 향후 생태계서비스의 향상을 도모하는 개발사업에 활용할 수 있도록 하였다.

연구결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 전(全)지구적 차원의 생태계서비스 개념을 개발사업이 시행되는 개별 단지규모에 적용하여 생태계서비스 평가를 실시하였다. 개발사업이 생태계서비스에 미치는 전반적인 영향을 파악하기 위해 공급서비스, 조절서비스, 지원서비스, 문화서비스의 모든 유형을 포함하는 종합평가를 시도하였다.

둘째, 개발로 인한 생태계서비스 상태변화를 파악함에 있어 17개 평가항목과 20개 평가지표를 최종 선정하였다. 17개 평가항목은 식량, 생물자원, 기후조절,

서식지제공, 레크리에이션 등으로 구성하였으며 20개 평가지표는 농산물생산량, 생태1·2등급권역, 탄소저장량, 서식규모의 안정성, 레크리에이션활동공간면적 등으로 구성하였다.

셋째, 생태계서비스 평가구조는 개발에 따른 상태변화를 정량적으로 분석하기 위해 개발 전(A)과 개발 후(B) 상태값에 대한 전·후평가방법 $((B-A)/A)$ 으로 산정하여 평가값이 -1(음)에서 +1(양)까지 값을 가지도록 하였다. 개발 후 생태계서비스가 증가하면 양(+)의 값, 감소하면 음(-)의 값, 그리고 서비스 변화가 없으면 0(제로)값을 나타내도록 하여 개발로 인한 생태계서비스 영향을 예측하고 평가할 수 있게 하였다.

넷째, 평가지표 측정은 개발사업의 환경영향평가단계에서 사용할 수 있는 자료를 바탕으로 20개 평가지표에 대한 정량화 방법을 설정하여 산출하였다. 택지개발사업 시행 전·후 상태변화를 파악하기 위해 단지내부 생태계를 평가대상으로 하였다. 공급과 조절서비스는 양적 평가, 지원서비스는 질적 평가를 하였으며, 문화서비스는 인간이 이용 가능한 생태적 공간의 구조분석방법으로 산출하였다.

마지막으로, 생태계서비스 평가모형의 적용가능성을 평가하기 위해 4개 보금자리주택지구-서울서초, 서울내곡, 고양원흥과 하남감일지구-에 적용하여 검증하였다. 그 결과, 서울서초지구는 개발 후 생태계서비스가 증가하였고 다른 3개 지구는 감소한 것으로 나타났다. 서비스 유형별로 보면 공급서비스는 4개 지구 모두 감소하였고, 문화서비스는 4개 지구 모두 증가하였으며, 조절과 지원서비스는 지역에 따라 다르게 나타났다. 개발계획에 대한 생태계서비스 평가는 토지이용계획이 중요하였고 개발에 따른 영향은 조절서비스가 가장 많이 받은 것으로 나타났다.

생태계서비스 평가모형을 4개 보금자리주택지구에 적용하여 본 결과 해당 평가모형은 택지개발사업이 생태계서비스에 미치는 영향을 예측하고 평가함에 적합하다고 판단되었다. 즉 평가모형은 사례대상지와 개발사업의 특성을 반영하였으며, 개발사업의 전·후 생태계서비스에 미치는 긍정적 또는 부정적 영향이 큰 특성을 파악할 수 있었다. 전체 평가지표의 중요도와 결과에 미치는 영향력 측면에

서 식물현존량, 생태1·2등급권역, 탄소저장량, 활엽수·혼효림면적, 그리고 지형보전·복구면적의 5개 지표는 개발계획에서 우선 고려할 지표로 제안하였다. 본 평가모형을 전략환경영향평가, 소규모 환경영향평가, 그리고 환경영향평가제도와 연계방안을 제안하였다.

본 연구의 생태계서비스 평가모형은 택지개발사업에 의한 단지규모 개발사업의 생태계서비스를 평가하는 데 의의가 있다. 그동안 전지구적 차원에서 생태계서비스 개념을 정립하고 생태계서비스 평가와 적용 필요성에 대한 연구현황을 살펴보면 국제적으로는 어느 정도 진행되고 있고 국내에서도 그 연구가 시작된 상태이다. 그러나 개발사업을 대상으로 평가한 연구사례가 국내외적으로 거의 없는 상황에서 본 연구는 그에 대한 방향성을 제시할 수 있을 것이라 판단한다. 또한 개발대상지의 생태계를 평가하였기 때문에 일반지역의 생태계에 대한 평가기법을 통해 상태변화를 파악할 수 있다는 점에서 의미가 있다. 전·후평가 결과 서비스 변화정도를 반영하여 대상지별 생태계서비스 감소분을 상쇄할 수 있는 증진방안 수립이 가능하다. 아울러 생태계의 다양한 기능적 측면뿐만 아니라 인간의 이용 측면도 함께 고려한 점에서 도시지역의 생태계 보전과 현명한 이용에 대한 판단 기준으로 작용할 수 있을 것이다.

□ 주요어 : 생태계서비스, 평가지표, 생태계서비스 평가, 전·후평가방법,
환경영향평가

□ 학 번 : 2011-30740

목 차

I . 서론	1
1. 연구의 배경	1
2. 연구의 목적	3
3. 연구의 범위	4
1) 내용적 범위	4
2) 공간적 범위	5
3) 시간적 범위	7
4. 연구의 방법	8
1) 평가구조의 설정	8
2) 평가지표의 선정	10
3) 평가모형의 개발	13
4) 평가모형의 적용	17
 II . 관련 이론 및 선행연구 고찰	 18
1. 생태계 가치와 지속가능성	18
1) 생태계 가치의 중요성과 지속가능성 평가	18
2) 개발에 대한 지속가능성 평가지표	20
2. 생태계서비스의 개념 정립	24
1) 생태계서비스의 개념	24
2) 생태계서비스의 유형	27

3. 생태계서비스의 평가모형	30
1) 평가모형의 개념	30
2) 생태계서비스의 평가지표	31
3) 생태계서비스 평가지표의 체계	32
4) 생태계서비스의 공간적 평가	37
4. 국내 환경영향평가제도	40
1) 택지개발사업과 보금자리주택사업	40
2) 환경영향평가제도	43

Ⅲ. 택지개발사업에서 생태계서비스 평가모형 개발

1. 택지개발사업에서의 생태계서비스 평가방향 설정	48
1) 생태계서비스의 개념을 고려한 평가	48
2) 환경영향평가와 비교를 통한 생태계서비스의 평가	48
2. 택지개발사업에서의 생태계서비스 평가지표 도출	54
1) 평가항목의 선정	54
2) 문헌조사를 통한 평가지표의 도출	55
3) 평가지표의 재선정	57
3. 생태계서비스 평가지표별 측정방법과 평가방법	60
1) 평가방법의 틀	60
2) 평가지표 측정방법의 설정	61
3) 평가단위 및 표준화	96
4. 택지개발사업에서의 생태계서비스 평가모형 개발	99
1) 생태계서비스 평가지표의 가중치	99

2) 생태계서비스 평가모형	104
3) 생태계서비스 평가모형의 효용성	105
IV. 생태계서비스 평가모형 적용	106
1. 사례적용 사업단지의 개황	106
1) 사례대상지역의 선정	106
2) 사례지역 현황	107
2. 생태계서비스 평가모형 적용결과	119
1) 평가지표 적용결과	119
2) 평가지표 산정 값의 표준화	134
3) 평가모형의 적용결과	139
3. 생태계서비스 평가모형 적용결과의 분석	148
1) 공급서비스 평가	148
2) 조절서비스 평가	152
3) 지원서비스 평가	161
4) 문화서비스 평가	165
5) 평가결과 종합	169
4. 생태계서비스 평가모형 활용방안	189
1) 생태계서비스 평가와 환경영향평가의 연계방안	189
2) 생태계서비스 평가모형 활용방안	191
V. 결론	195

1. 연구의 주요 결과 및 의의	195
2. 연구의 한계 및 향후 과제	198
인용문헌	200
부록	219
부록 1. 생태계서비스 평가항목 선정을 위한 조사자료	219
부록 2. 생태계서비스 평가지표 선정을 위한 조사자료	223
부록 3. 생태계서비스 평가지표(안)에 대한 전문가의견	232
부록 4. 생태계서비스 평가지표의 상대적 중요도 평가 설문지(1차)	240
부록 5. 생태계서비스 평가지표의 상대적 중요도 평가 설문지(2차)	246
부록 6. 현행 환경영향평가에 생태계서비스 평가의 적용방안	253
부록 7. 사례대상지구의 생태계서비스 평가지표 산정	264

표 차 례

표 I -1. 보금자리주택사업의 개발계획 및 토지이용현황	7
표 I -2. 표준화방법	14
표 I -3. 9단계 척도에 의한 중요도 설문 예시	16
표 I -4. AHP 설문 평가척도	16
표 II -1. 국내 지속가능성 평가지표 선행연구	22
표 II -2. 생태계서비스 개념의 발전과정	25
표 II -3. 생태계서비스의 분류체계	28
표 II -4. 생태계서비스의 유형별 특징	29
표 II -5. 생태계서비스의 지속가능한 이용을 위한 지표	33
표 II -6. 가구의 거처유형(1980-2010)	41
표 II -7. 주요 개발사업의 실적비교(2006년까지 누계)	41
표 II -8. 환경영향평가 대상 도시개발사업의 종류와 범위(주거환경 관련)	45
표 III -1. 환경영향평가 항목과 생태계서비스 종류	49
표 III -2. 생태계서비스 평가와 환경영향평가의 주안점과 평가요소	50
표 III -3. 생태계서비스 평가와 환경영향평가의 목적 및 시사점	53
표 III -4. 생태계서비스 평가항목의 재설정	54
표 III -5. 문헌조사를 통한 생태계서비스 후보지표	56
표 III -6. 생태계서비스 평가 주안점 및 내용 수정	57
표 III -7. 생태계서비스 평가지표 선정	59
표 III -8. NRCS의 수문학적 토양그룹	64
표 III -9. 토양의 수문학적 특성과 토양도의 수문군 분류표	65
표 III -10. 개발 전과 개발 후 토지이용분류에 따른 CN값	66
표 III -11. 녹지자연도에 의한 식물현존량과 순생산량 산정계수	67

표 III-12. 생태자연도 등급별 특성	68
표 III-13. 생물자원의 가치를 고려한 가중치 값	69
표 III-14. 식생의 대기오염물질흡수량	70
표 III-15. 공원내 녹지면적	71
표 III-16. 물체의 반사능(albedo)	73
표 III-17. 토지유형별 토양탄소저장량 원단위	76
표 III-18. 투수성지반면적 산정계수	78
표 III-19. 자연형 비점오염저감시설 종류	79
표 III-20. 자연형 비점오염저감시설 효율 기준	80
표 III-21. 경사도에 따른 지형의 구분	82
표 III-22. 토지이용에 따른 토양유실을 산정기준	83
표 III-23. 이질정도에 따른 이질계수	85
표 III-24. AHP 설문에 참여한 전문가 현황	100
표 III-25. AHP 분석에 활용한 설문부수	100
표 III-26. 중요도 산정결과	101
표 IV-1. 사례대상사업의 특성	106
표 IV-2. 서울서초보금자리주택지구 토지이용현황 및 계획	109
표 IV-3. 서울내곡보금자리주택지구 토지이용현황 및 계획	110
표 IV-4. 고양원흥보금자리주택지구 토지이용현황 및 계획	115
표 IV-5. 하남감일보금자리주택지구 토지이용현황 및 계획	116
표 IV-6. 2010 사례대상지역 지자체별 작물생산면적과 생산량	120
표 IV-7. 농산물생산량 지표 적용결과	121
표 IV-8. 침투량 지표 적용결과	121
표 IV-9. 식물현존량 지표 적용결과	122
표 IV-10. 생태1·2등급권역 지표 적용결과	122

표 IV-11. 대기오염물질흡수량 지표 적용결과	124
표 IV-12. 수·녹지면적 지표 적용결과	124
표 IV-13. 탄소저장량 지표 적용결과	125
표 IV-14. 활엽수·혼효림면적 지표 적용결과	126
표 IV-15. 투수성지반면적 지표 적용결과	126
표 IV-16. 수질오염정화능 지표 적용결과	127
표 IV-17. 환경사지피복면적 지표 적용결과	128
표 IV-18. 서식규모의 안전성 지표 적용결과	129
표 IV-19. 서식공간의 이질성 지표 적용결과	129
표 IV-20. 지형보전·복구면적 지표 적용결과	130
표 IV-21. 경관미 지표 적용결과	131
표 IV-22. 레크리에이션활동공간면적 지표 적용결과	131
표 IV-23. 레크리에이션활동공간의 분산도 지표 적용결과	132
표 IV-24. 레크리에이션활동공간 규모의 다양성 지표 적용결과	133
표 IV-25. 교육공간의 근접성 지표 적용결과	133
표 IV-26. 교육공간의 잠재성 지표 적용결과	134
표 IV-27. 조절서비스 평가지표의 전·후평가 적용결과	135
표 IV-28. 문화서비스 평가지표의 전·후평가 적용결과	135
표 IV-29. 문화서비스 평가지표의 전·후평가와 Z-score 비교	136
표 IV-30. 문화서비스 평가지표의 전·후평가와 스케일재조정 비교	137
표 IV-31. 조절서비스 평가지표의 전·후평가와 스케일재조정 비교	138
표 IV-32. 문화서비스 평가지표의 전·후평가와 전·후평가의 로그 비교	139
표 IV-33. 대상지구의 농경지 분포현황(개발전)	148
표 IV-34. 대상지구의 녹지자연도 등급별 면적 변화	149
표 IV-35. 대상지구의 식물현존량 변화	150

표 IV-36. 대상지구의 생태등급별 변화	151
표 IV-37. 조절서비스 평가지표의 평가대상	152
표 IV-38. 대상지구의 식생유형별 면적 변화	153
표 IV-39. 대상지구의 식생유형별 대기오염물질흡수량	153
표 IV-40. 대상지구의 수공간면적과 녹지공간면적 변화	155
표 IV-41. 대상지구의 탄소저장량 변화	156
표 IV-42. 대상지구의 활엽수면적 변화	158
표 IV-43. 대상지구의 투수성지반면적 변화	159
표 IV-44. 대상지구의 수질오염정화능 변화	160
표 IV-45. 대상지구의 환경사지피복면적 변화	161
표 IV-46. 지원서비스 평가지표의 평가대상	161
표 IV-47. 대상지구의 서식지 패치면적과 패치개수 변화	162
표 IV-48. 대상지구의 자연지역과 훼손지복구면적 변화	165
표 IV-49. 문화서비스 평가지표의 평가대상	166
표 IV-50. 레크리에이션활동공간면적 변화	167
표 IV-51. 레크리에이션활동공간의 분산도 및 다양성 변화	168
표 IV-52. 생태계서비스 평가지표와 기존 지표의 연관성	170
표 IV-53. 사례대상지의 생태계서비스 평가에서 긍정적 영향이 큰 특성	172
표 IV-54. 사례대상지의 생태계서비스 평가에서 부정적 영향이 큰 특성	173
표 IV-55. 생태계서비스 평가에서 영향요소	175
표 IV-56. I 그룹 생태계서비스 평가지표	176
표 IV-57. II 그룹 생태계서비스 평가지표	178
표 IV-58. III 그룹 생태계서비스 평가지표	180
표 IV-59. IV 그룹 생태계서비스 평가지표	181
표 IV-60. 조절서비스 면적기반 지표의 변화	186

표 IV-61. 조절서비스 면적기반 지표의 전·후평가.....	186
표 IV-62. 고양원흥지구의 식생면적 변경	188
표 IV-63. 환경영향평가제도와 연계를 위한 접근방향.....	189
표 IV-64. 환경영향평가제도에 생태계서비스 평가 활용방안.....	191
표 IV-65. 생태계서비스 평가의 환경영향평가 단계별 적용방안.....	193

그 림 차 례

그림 I -1. 연구흐름도	9
그림 II -1. 생태계서비스의 개념도	24
그림 II -2. 생태계서비스와 인간복지 영향과의 관련성	26
그림 II -3. 생태계 & 생물다양성과 인간복지간의 관계	27
그림 II -4. 생태계서비스와 변화의 직·간접 요인	35
그림 II -5. 생태계서비스 공급을 위한 구조	35
그림 II -6. 개발사업의 생태계서비스 영향평가에 대한 개념적 체계도	37
그림 II -7. 택지개발사업 추진절차	42
그림 II -8. 환경영향평가제도의 정비	44
그림 III -1. 경사도와 토사발생량의 관계	82
그림 III -2. 기준격자(5번)에서 서식지의 이질정도 예시	85
그림 III -3. 생태계서비스 평가 위계도	99
그림 III -4. 생태계서비스 평가지표 중요도 비교	102
그림 III -5. 생태계서비스 유형별 평가지표의 가중치(1단계)	103
그림 III -6. 생태계서비스 유형별 가중치(2단계)	104
그림 IV -1. 서울서초보금자리주택지구 전경	107
그림 IV -2. 서울서초보금자리주택지구 토지이용현황도와 토지이용계획도	108
그림 IV -3. 서울내곡보금자리주택지구 전경	109
그림 IV -4. 서울내곡보금자리주택지구 토지이용현황도와 토지이용계획도	111
그림 IV -5. 고양원흥보금자리주택지구 전경	112
그림 IV -6. 고양원흥보금자리주택지구 토지이용현황도와 토지이용계획도	114
그림 IV -7. 하남감일보금자리주택지구 전경	115
그림 IV -8. 하남감일보금자리주택지구 토지이용현황도와 토지이용계획도	118

그림 IV-9. 공급서비스 평가결과.....	140
그림 IV-10. 조절서비스 평가결과.....	141
그림 IV-11. 지원서비스 평가결과.....	143
그림 IV-12. 문화서비스 평가결과.....	144
그림 IV-13. 생태계서비스 유형별 평가결과.....	145
그림 IV-14. 생태계서비스 평가지표별 평가결과.....	147
그림 IV-15. 식생면적과 식생의 대기오염물질흡수량 전·후평가.....	154
그림 IV-16. 수공간면적과 녹지공간면적 전·후평가.....	155
그림 IV-17. 식생과 토양의 탄소저장량.....	157
그림 IV-18. 식생과 토양의 탄소저장량 전·후평가.....	157
그림 IV-19. 서식지 패치면적과 패치개수의 전·후평가.....	162
그림 IV-20. 서식공간의 이질성 전·후평가.....	164
그림 IV-21. I 그룹 생태계서비스 평가지표의 전·후평가.....	177
그림 IV-22. II 그룹 생태계서비스 평가지표의 전·후평가.....	179
그림 IV-23. III 그룹 생태계서비스 평가지표의 전·후평가.....	181
그림 IV-24. IV 그룹 생태계서비스 평가지표의 전·후평가.....	181
그림 IV-25. 개발 후 녹지비율과 생태계서비스의 전·후평가.....	182
그림 IV-26. 녹지면적과 생태계서비스의 전·후평가.....	183
그림 IV-27. 녹지면적과 조절서비스 평가지표의 전·후평가.....	185

I. 서론

1. 연구 배경

생태계는 인간의 건강과 삶의 질을 유지하는 데 필수 불가결한 요소이다(OECD, 2009). 산업혁명 이후 경제는 성장위주로 발전하면서 도시화의 증가 및 자원개발의 확대 등으로 자연의 생태계를 위협하게 되었다. 이러한 생태계의 위협은 사람들의 건강과 생명에 해(害)를 끼치고 삶의 질을 낮추게 된다. 이에 따라 세계는 지속가능한 발전(Sustainable development)이라는 개념을 1987년에 도입하였고, 1992년에 개최된 유엔환경개발회의(UNCED)를 계기로 전(全)지구적인 정책으로 자리매김하였다. 지속가능한 발전은 현 세대와 미래세대 간의 평등과 개발과정에서 도외시되었던 생태계 중요성을 고려하여 자연과 인간이 공존하고 자연의 환경용량범위 내에서 개발행위가 이루어져야 함을 의미한다(WCED, 1987; UNCSD, 1996). 지속가능한 발전의 실천을 위해서는 개발로 얻게 되는 편익에 비해 제대로 평가받지 못한 생태계 가치를 지속가능성의 관점에서 파악하는 것이 중요하다.

이러한 생태계 가치를 고려한 지속가능성 평가를 위해 모형, 지표개발 등 다각적인 차원에서 연구가 진행되고 있다. 그동안 생태계 가치평가가 어려웠던 화폐단위 대신 에너지단위의 에머지 분석(Odum and Nilsson, 1996)과 생산적인 소비면적단위의 생태적 발자국 분석(Wackernagel and Rees, 1996) 등 모형들이 국가나 도시·지역적 단위로 실시되는 환경용량과 지속성평가에 활용되고 있다. 그러나 환경훼손은 개발사업이 시행되는 국지규모에서 발생하기 때문에 개발계획 단계에서 생태계 훼손을 줄이기 위한 평가수단이 필요하다. 국내에서도 계획 및 설계단계에서 요구되는 지속가능성 평가지표, 또는 계획모형을 개발하거나 친환경적 계획요소 또는 기준을 제시한 연구들이 있다(박원규, 2002; 양병이와 이관규, 2002; 이규인, 2003). 그러나 정량화된 기준으로 생태계 평가를 지원할 수 있는 지표는 아직 개발되지 않고 있다. 이에 따라 발사업의 의사결정단계에서 생태계

영향을 평가하기에는 미흡한 실정이다.

생태계는 인간에게 직·간접적으로 다양한 혜택을 제공한다(MA, 2005). 개발로 생태계가 훼손되면 생태계로부터 얻는 혜택이 줄고 인간복지에도 영향을 끼치게 된다(Costanza et al., 1997; Diaz et al., 2006). 생태계가 제공하는 혜택을 생태계서비스라고 한다. 생태계서비스 개념을 적용한 평가는 생태적 평가의 새로운 영역으로서(Latimer, 2009), 인간사회와 생태계를 연결하고 자연과 인간의 상호작용을 나타내고 있다(De Groot et al., 2002). 생태계서비스는 자연환경의 현명한 이용을 뒷받침할 수 있는 기회를 제공하므로(Wallace, 2007; Farber et al., 2006; 박창석 등, 2011) 개발사업 시행에 앞서 이에 주목하여야 한다. 생태계서비스 연구는 새천년생태계평가(MA, 2005) 이후 급속히 증가하였으나(Fisher et al., 2009; Seppelt et al., 2011), 생태적 기반에 대한 이해가 제한적이고(Balmford et al., 2003; Luck et al., 2003; Palmer et al., 2004; Kremen, 2005) 생태계서비스의 정량화와 가치평가가 어렵다는 이유 때문에(Turner and Daily, 2008; Luck et al., 2009) 실제 개발사업에서 생태계서비스를 평가한 사례는 없는 실정이다. 생태계서비스 정보는 의사결정 계획단계에 영향을 준다(von Haaren and Albert, 2011; Daily et al., 2009). 특히, 공간계획은 생태계서비스를 고려함으로써 효과를 볼 수 있으므로(TEEB, 2010; Haines-Young and Potschin, 2008; Geneletti, 2011) 개발계획에 대한 생태계서비스 평가가 필요하다 할 것이다.

현재 개발사업의 시행에 앞서 개발계획이 생태계에 미치는 영향을 평가하는 정책도구로 환경영향평가제도가 운용되고 있다. 환경영향평가는 지속가능한 발전을 구현하기 위해 개발계획을 수립할 때 환경에 미치는 영향을 사전에 파악하여 해로운 영향은 피하거나 줄일 수 있는 방안을 모색한다. 그러나 개발사업으로 인한 생태계 훼손 논쟁에서 환경영향평가는 제대로 영향력을 발휘하지 못하였다. 이것은 훼손문제를 다루는 계획이나 환경성 검토과정이 미흡하기 때문이다(최영국 등, 2006). 개발사업에 대한 환경영향평가 과정에서 매체별 환경영향을 평가하고 인위적 저감방안을 모색하였으나 생태계에 미치는 영향과 기능에 대한 종합적인

평가가 미흡하고 생태계를 평가할 수 있는 수단이 구조화되어 있지 못하다(구미현과 이동근, 2012b). 법적으로 보호받는 생물종들과 보호지역에만 평가가 집중되어(권영한 등, 2006) 보호지역 이외 자연에 대한 검토가 미흡하다고 볼 수 있다. 개발사업으로 인해 피해를 보는 자연은 보호지역이 아닌 개발대상지와 주변 지역 생태계이며(최영국, 2007), 쾌적한 삶을 위해 필요한 자연도 사람들이 쉽게 접하는 주거지역 생태계이다. 우리나라 국민의 91% 이상이 도시지역에 살고 있고(2012.7.4, 국토해양부 보도자료), 공동주택비율이 전체 가구유형의 47%로 높기 때문에(통계청, 2011) 개발대상 주거지역의 생태계서비스에 대한 평가기준과 기법의 마련이 필요하다.

따라서, 생태계서비스 개념에 대한 이해를 바탕으로 도시지역 택지개발사업이 생태계서비스에 미치는 영향을 정량화한 평가모형 개발이 필요하다. 이러한 생태계서비스 평가모형은 개발대상지 전체 생태계서비스를 정확히 파악할 수 있는 구체적이며 실천적인 평가기법으로써 환경영향평가 과정에 이를 포함하여 적용되도록 할 필요가 있다. 이를 통해 개발사업 시행 전과 시행 후 전체 생태계서비스에 대한 상태변화를 평가할 수 있을 것이다. 이것은 개발사업으로 초래되는 생태계서비스 감소를 줄이는 소극적 수단이 아니라 생태계서비스 증진을 도모하는 적극적인 수단으로써, 보호지역 생태계와는 다른 일반지역 생태계의 가치를 창출하는데 기여할 것이다.

2. 연구의 목적

본 연구는 도시지역 택지개발사업을 대상으로 생태계서비스에 미치는 영향을 정량적으로 평가할 수 있는 모형을 개발하는 것이다. 개발 전과 개발 후 생태계서비스 상태변화를 객관적으로 예측하고 정량적으로 평가한다. 이를 통해 생태계서비스를 증진하는 방향으로 택지개발을 유도하고 도시자연환경의 지속가능성을 도모하며 인간의 복지증진에도 기여할 수 있는 토대를 마련하고자 한다. 이를 위

한 본 연구의 구체적인 목적은 다음과 같다.

첫째, 택지개발사업에서 생태계서비스 평가영역을 도출하고 이를 가장 잘 설명할 수 있는 정량적 평가지표를 개발하고자 한다. 생태계가 인간사회에 기여하는 전체적인 서비스는 그동안 개념으로만 머물러 있었으나, 이를 평가할 수 있게 됨에 따라 생태계서비스를 제대로 인식하고 이를 실제 적용될 수 있는 자료로 제공이 가능하다. 이에 생태계가 공급하는 서비스, 생태적 과정을 조절하는 서비스, 생물의 생존에 적합한 환경을 지원하는 서비스, 그리고 인간이 자연을 인식하고 이용하는 문화서비스의 모든 유형을 포함하는 종합적인 평가가 되도록 한다.

둘째, 택지개발대상지에 적합한 개발 전과 개발 후 생태계서비스 상태변화를 분석할 수 있는 평가모형을 개발하고 사례대상지를 선정하여 개발된 모형을 적용하고자 한다.

셋째, 생태계서비스 평가가 개발사업에서 실효성을 가지기 위해 현행 제도에 도입할 수 있도록 환경영향평가와 연계방안을 제시하고자 한다.

3. 연구의 범위

1) 내용적 범위

택지개발사업에서 생태계서비스 평가모형 개발은 생태계서비스 개념 정립단계, 생태계서비스 평가지표와 평가모형 개발단계, 개발된 모형의 적용과 분석단계로 구분된다.

첫째, 생태계서비스 개념 정립단계에서는 관련 문헌분석을 통해 생태계 평가와 생태계서비스 평가에 대한 기본 이론을 고찰한다. 택지개발 계획단계의 생태계서비스 평가도구로써 생태계서비스 평가지표와 요건, 생태계서비스 측정체계와 평가모형에 대하여 고찰한다. 그리고 개발계획에 대한 생태계서비스 평가 적용을 위해 환경영향평가제도 내용에 대해 고찰한다.

둘째, 생태계서비스 평가모형 개발단계에서는 먼저, 생태계서비스 개념을 반영하기 위해 선행연구를 조사하고 환경영향평가제도와 비교하여 평가 틀을 설정한다. 분석 가능한 생태계서비스 평가항목과 지표를 도출하기 위해 선행연구 조사와 개발사업의 환경영향평가 자료를 토대로 전문가 검증을 거쳐 평가항목과 평가지표를 선정한다. 선정된 지표는 정량적으로 분석하고 종합하여 대상을 평가할 수 있도록 표준화하고 각 서비스와 지표별 상대적 중요도를 가중치로 반영한 평가모형을 개발한다.

셋째, 개발된 모형의 적용과 분석 단계에서는 개발한 생태계서비스 평가지표와 평가모형을 사례대상지인 보금자리주택지구²⁾에 적용하여 개발 전과 개발 후 생태계서비스 평가를 실시하고 그 적용결과를 해석한다. 이를 바탕으로 현재 환경영향평가제도에서 생태계서비스 평가를 적용하기 위해 생태계서비스 평가와 환경영향평가의 연계방안을 제시한다.

2) 공간적 범위

본 연구는 개발행위가 생태계서비스에 미치는 영향을 평가하고자 하였다. 생태계서비스 개념 적용이 필요한 지역은 개발과 보전의 대립구조가 형성되는 지역으로 도시지역이 해당하며, 특히 주거지역은 자연환경과 인간행위의 조화개념이 더욱 필요한 곳이다. 인간 삶의 질 향상을 위해서는 주거지역 가까이에 위치하여 자주 접하는 생태계가 주거지역과 멀리 떨어져 있고 생태계가 우수한 보호지역보다 더 중요하다고 볼 수 있다. 따라서 생태계서비스 평가모형의 사례 적용은 최근 수도권지역에서 시행되고 있는 택지개발사업¹⁾으로 하였다.

사례 대상지역은 「환경영향평가법」 제22조 제2항에 따른 환경영향평가 대상사업으로 동법 시행령 제31조 제2항 별표3의 「보금자리주택건설 등에 관한 특별법」 제2조 제3호 가목에 따른 보금자리주택지구²⁾ 조성사업 지역을 선정하였다.

1) 택지개발사업은 일단의 토지를 활용하여 주택건설 및 주거생활이 가능한 택지를 조성하는 사업을 말한다.(「택지개발촉진법」(법률 제11690호, 2013.3.23.) 제2조)

보금자리주택사업은 저렴한 주택과 택지공급을 목적으로 주거지역이 적고 대부분 개발제한구역 내에 입지하는 특성이 있다(황상일과 박선훈, 2011). 이 지역은 자연환경과 도시민의 삶의 질에 대한 고려가 우선적으로 필요한 지역으로 본 연구에서 다루는 생태계서비스 평가에 적합한 지역이라 볼 수 있다.

사례연구 대상사업을 선정하기 위해 수도권에서 진행되는 보금자리주택사업의 규모, 토지이용현황과 개발계획을 분석하였다(표 I - 1).

사업규모는 보금자리주택 세대수를 기준으로 5천 세대 미만은 소규모, 5천 세대 이상 1만 세대 미만은 중규모, 1만 세대 이상은 대규모의 세 그룹으로 구분하였다. 개발밀도를 반영하기 위하여 사업별 세대수를 대상면적으로 나눈 세대밀도를 조사하였으며, 생태공간의 보유현황을 파악하기 위하여 개발 전 토지이용현황 자료에서 농경지, 임야와 기타지역의 비율을 추출하였고, 개발 후 각 보금자리주택지구 조성사업 환경영향평가서에서 제시하고 있는 토지이용계획의 공원녹지비율을 조사하였다.

이들 조사결과를 종합하여 사업규모와 토지이용현황 측면에서 구별되는 특성을 가지는 사업을 사례적용 대상으로 하였다. 사업규모 측면에서는 소규모, 중규모, 그리고 대규모사업을 각각 포함하였다. 토지이용현황 측면에서는 농경지 비율, 임야비율, 기타비율, 그리고 공원녹지비율이 최대, 최소 또는 평균에 해당하는 사업을 포함하여 대상지간에 뚜렷한 특성의 차이를 나타내도록 하였다. 생태계서비스 평가모형의 적용 대상사업으로 서울서초, 서울내곡, 고양원흥 그리고 하남감일보금자리주택지구 등 4개 지구를 선정하였다.

2) 보금자리주택은 국가 또는 지방자치단체의 재정이나 국민주택기금을 지원받아 건설 또는 매입하여 공급하는 주택을 말한다. 보금자리주택지구는 주거·산업·교육·문화시설 등이 복합적으로 어우러져 살기 좋은 정주환경을 갖추도록 하여 보금자리주택이 전체주택 중 100분의 50 이상이 되는 지구를 말한다.(「보금자리주택건설 등에 관한 특별법」(법률 제11690호, 2013.3.23.) 제2조)

표 I -1. 보금자리주택사업의 개발계획 및 토지이용현황

구분	사업명	개발계획*			토지이용현황**			
		총면적 (㎡)	사업규모 (세대수)	세대밀도 (세대수/㎢)	개발전			개발 후
					농경지 비율	임야 비율	기타 비율	공원녹지 비율
소규모	서울 양원	391,484	3,010	7,689	33.2	27.6	39.2	25.1
	서울 서초	363,250	3,930	10,819	75.8	1.7	22.5	17.5
	성남 고등	569,000	4,000	7,030	49.4	16.7	33.9	30.0
	서울 내곡	819,000	4,247	5,186	70.0	14.7	15.3	41.6
	서울 세곡2	771,121	4,418	5,729	84.4	2.2	13.4	37.7
	서울 향동	664,000	4,600	6,928	49.3	24.1	26.6	27.8
중규모	인천 구월	841,000	6,068	7,215	70.5	17.5	12.0	21.2
	서울 강남	939,000	6,821	7,264	55.1	21.9	23.0	20.0
	고양 원흥	1,287,262	8,601	6,682	48.3	32.2	19.5	27.8
	고양 지축	1,191,155	8,603	7,222	51.6	7.9	40.5	20.8
	부천 옥길	1,328,445	9,348	7,037	47.5	26.8	25.7	30.2
	구리 갈매	1,505,634	9,848	6,541	52.0	17.9	30.1	31.9
대규모	하남 감일	1,688,000	12,907	7,646	33.7	23.1	43.2	20.7
	시흥 은계	2,030,900	13,069	6,435	53.3	20.7	26.0	33.5
	남양주 진건	2,491,148	17,023	6,833	77.7	7.0	15.3	29.7
	하남 미사	5,465,419	36,496	6,678	48.1	10.8	41.1	27.3
	광명 시흥	17,367,000	95,026	5,472	49.7	25.8	24.5	19.6
	최대	17,367,000	95,026	10,819	84.4	32.2	43.2	41.6
	최소	363,250	3,010	5,186	33.2	1.7	12.0	17.5
	평균	2,336,048	14,589	6,965	55.9	17.6	26.6	27.2

* 개발계획은 보금자리주택 홈페이지(<http://newplus.go.kr>)에서 인용

** 토지이용현황은 환경영향평가정보지원시스템(<http://eiass.go.kr>)에서 인용

3) 시간적 범위

택지개발사업의 개발계획을 수립하는 시점부터 개발계획에 대한 환경영향평가가 완료되어 실시계획을 수립하기 전까지로 하였다. 생태계서비스 평가를 환경영향평가와 연계하기 위해 환경영향평가 시작부터 협의단계까지 설정하였다.

4. 연구의 방법

택지개발사업에 따른 생태계서비스 평가모형을 개발하기 위해 평가구조 설정, 평가지표 선정, 평가모형 개발, 그리고 개발된 평가모형 적용단계로 진행하였다. 각 단계에서 본 연구와의 관련성을 고찰하고 모형을 개발하기까지 필요한 객관성 확보를 위해 문헌분석, 전문가의견조사, 통계분석 방법을 사용하였다. 생태계 평가와 생태계서비스 개념 그리고 지표에 대한 문헌연구를 통해 생태계서비스 평가 요소를 도출하고 생태계서비스를 평가할 수 있도록 지표체계를 정립한 후, 지표별 산정방법을 설정하고 모형으로 종합하는 귀납적 연구방법(inductive method)³⁾ 과정을 거쳤다. 사례연구대상지는 보금자리주택지구이며 생태계서비스 평가모형의 적용을 통해 평가결과를 해석하였고 환경영향평가와 연계방안을 제안하였다(그림 I-1).

본 연구에서 사용한 전문가의견조사는 생태계서비스 개념에 대한 선행연구는 있으나 적용연구는 참고할 사례가 거의 없었기 때문에 검증수단으로 활용하였다. 생태계서비스 개념을 적용한 지표 발굴과 평가모형 도출과정에 이용하였다. 통계 분석은 전문가 설문조사 결과를 분석하는데 사용하여 지표개발과 모형개발과정에 적용하였다.

1) 평가구조의 설정

택지개발사업이 생태계서비스에 미치는 영향을 평가하는 것이 본 연구의 목적이므로 생태계서비스의 네 가지 유형인 공급, 조절, 지원, 그리고 문화서비스를 모두 포함하는 종합적인 평가를 실시하였다.

택지개발에 따른 생태계서비스 평가는 개발 전과 개발 후 생태계서비스 상태

3) 귀납적 연구방법(inductive method)은 자료를 수집하고 수집된 자료를 토대로 공통점을 찾아낸 후에 이를 근거로 결론에 도달하는 방식이다. 이와 대비되는 연역적 연구방법(deductive method)은 연구주제에 대한 잠정적인 가설을 세우고 이를 수집한 자료를 동원하여 검증하는 연구방법이다(정현욱, 2012)

연구과정	연구 내용
이론적 고찰 (문헌연구)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 생태계 가치와 지속가능성 ○ 생태계서비스의 개념 정립 ○ 생태계서비스 평가지표와 평가모형 ○ 국내 환경영향평가제도
생태계서비스 평가지표 선정 및 평가모형 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 생태계서비스 평가방향 설정 ○ 생태계서비스 평가지표 도출 <ul style="list-style-type: none"> - 평가항목 선정(전문가 설문·자문) - 평가지표 도출(전문가 검증) - 문화·지원서비스 지표 재도출과 평가지표 재설정 ○ 생태계서비스 평가지표의 측정방법과 평가방법 설정 <ul style="list-style-type: none"> - 평가방법의 틀 - 평가지표의 측정방법 설정 - 표준화방법 설정 ○ 생태계서비스 평가모형 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 생태계서비스와 평가지표의 가중치 산정 (AHP 적용, 전문가 설문 반복) - 평가모형 도출(지표의 표준점수화, 가중치 적용)
생태계서비스 평가모형 적용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 사례지역 선정: 4개 보금자리주택지구 ○ 4개 지구에 평가지표 및 평가모형의 적용 ○ 생태계서비스 평가모형 적용결과의 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 공급서비스, 조절서비스, 지원서비스, 문화서비스 평가 ○ 생태계서비스 평가모형 활용방안 <ul style="list-style-type: none"> - 생태계서비스 평가와 환경영향평가의 연계 방안
결론	<ul style="list-style-type: none"> ○ 생태계서비스 평가모형의 적용가능성 제시 ○ 생태계서비스 평가모형 활용방안 제시

그림 I -1. 연구흐름도

변화를 평가하는 것이므로 환경영향평가와 같이 개발계획이 평가대상이 된다. 이에 현행 환경영향평가제도와 비교를 통해 평가구조를 설정하였다. 먼저 관련문헌을 참고하여 생태계서비스 평가에서 중점을 두어야 할 부분과 평가할 내용을 도출하고 환경영향평가와 차이가 나는 생태계서비스 평가 부분을 밝혔다.

환경영향평가는 개발계획이 확정된 후 개발사업 시행에 따른 환경영향을 구체적으로 예측하고 해로운 환경영향을 최소화하기 위한 제도로써 그 절차는 개발 이전 상태의 현황조사, 개발계획을 고려한 환경영향 예측, 예측된 영향의 저감방안, 그리고 개발사업이 완료된 후 사후모니터링 단계로 진행된다. 즉, 개발 이전과 이후 상태를 비교하여 저감대책을 마련하고 검증 절차를 가지게 된다.

생태계서비스 평가 골격은 환경영향평가와 같이 개발사업 시행에 따른 생태계서비스 상태변화를 예측하고 서비스 증진을 최대화하는 것으로 구상하였다. 이를 위해 생태계서비스 평가절차도 개발 전 서비스 상태의 현황조사, 개발계획을 고려한 생태계서비스 상태변화 예측, 예측된 서비스 변화량의 증진방안, 그리고 개발사업이 완료된 후 서비스 변화량을 확인하는 사후모니터링 단계로 진행하였다. 즉, 개발 전과 개발 후 생태계서비스 상태변화를 측정하고 개발로 인한 생태계서비스 증감 정도를 파악함으로써 서비스 증진대책을 마련하는 것으로 설정하였다.

2) 평가지표의 선정

(1) 생태계서비스 평가항목의 선정

생태계서비스 평가항목은 개발사업의 환경영향평가단계에서 적용가능성을 고려하여 생태계서비스 전체 체계를 나타내는 후보평가항목을 제시하였다. 1차 전문가 심층인터뷰와 설문조사를 거쳐 단지규모 개발사업의 평가에 적합한 항목을 선정하였다. 조사자료는 문헌조사를 통해 현재 가장 많이 인용되고 있는 새천년 생태계평가(MA, 2005)와 De Groot et al.(2010)의 생태계서비스 분류를 적용하였다. 평가항목을 선정하기 위한 판단기준은 지표 요건에 대한 선행연구를 참고

하였다. 지표 요건에 대해 대표성, 측정용이성과 정량성은 활용이 높은 것으로 분석되었고 비교가능성, 규칙성과 종합성은 활용가능성이 낮은 것으로 나타났다(이우성, 2011), 본 연구에서도 이를 반영하여 생태계서비스 평가항목의 적합성 판단 기준으로 대표성, 측정용이성과 정량성을 선택하였다.

1차 전문가 검증결과를 반영하여 평가항목의 삭제, 통합, 이동 또는 용어수정을 하였다. 평가항목 삭제는 전문가 설문결과 대표성 또는 측정용이성 평균값이 2.5이하이거나 3미만에 해당하고, 전문가 심층인터뷰에서 삭제의견을 제시한 평가항목이 해당된다. 또한 전문가가 평가항목의 통합, 이동 또는 용어수정이 필요하다고 제시한 의견에 대해서 재검토하였다.

(2) 생태계서비스 평가지표의 선정

생태계서비스 평가지표가 가져야 할 조건은 생태계서비스 평가체계에 대한 문헌연구를 통해 다음 네 가지로 요약할 수 있었다. 첫째, 생태계의 구조와 기능을 고려한 평가가 가능하고, 둘째, 인간에게 혜택을 제공하는 측면을 포함하여야 한다. 셋째, 개발에 따른 생태계서비스 변화량을 평가할 수 있고 개발 전·후 상태 비교가 가능하며, 마지막으로, 지표로써 용이성을 가지고 있어야 한다. 이와 같은 조건을 충족하여 개발사업에 적용할 수 있는 생태계서비스 평가지표는 생태계서비스 개념을 대표하고 측정이 용이하며 정량적인 평가가 가능하여야 하므로 대표성, 측정용이성 그리고 정량성을 지표 선정기준으로 삼았다.

생태계서비스 평가지표는 재설정된 생태계서비스 평가항목을 기준으로 국내·외 문헌조사를 통해 생태계서비스 후보평가지표를 도출하였다. 생태계서비스 평가지표를 연구한 기존문헌이 거의 없어 단지규모 개발사업과 생태계의 기능별 지표를 연구한 문헌 중심으로 고찰하였고, 자료수집 용이성을 위해 택지개발사업의 환경영향평가서에서 제시하고 있는 자료를 추가 조사하였다. 도출된 후보평가지표들을 검증하기 위해 2차 전문가 심층인터뷰와 설문조사를 거쳐 최종적으로 평가지표를 선정하였다.

(3) 평가항목과 평가지표 선정을 위한 전문가 심층인터뷰 및 설문조사

생태계서비스 평가항목과 평가지표 발굴에 참고할 수 있는 생태계서비스 평가 지표 연구사례가 거의 없고 개발계획을 대상으로 생태계서비스 평가지표를 개발한 사례는 전무하였다. 이에 따라 지표개발 단계별로 총 3차에 걸쳐 전문가 심층 인터뷰와 설문조사를 실시하였다. 참여 전문가는 연구와 근무경험이 풍부한 박사 학위 이상 소지자이거나 관련 업무에서 10년 이상 근무한 대학, 연구소, 정부, 기업 등에 소속된 전문가로 선정하였다. 다양한 분야의 전문가를 참여토록 한 것은 평가항목 및 평가지표 선정 과정에서 각계의 균형잡힌 시각을 반영하기 위함이다.

생태계서비스 평가항목 선정을 위한 1차 전문가 검증에서는 생태계서비스 평가 틀에 따라 생태계서비스 분류체계를 준용하여 후보평가항목으로 제시하고 2012년 5월 9일부터 5월 15일까지 실시하였다. 생태계서비스 평가항목의 적합성 설문방식은 5점 리커드척도법을 이용하여 적합한 곳에 기입하도록 구성하였고 심층인터뷰에서는 전문가로부터 관련 부분에 대한 의견을 들었다. 1차 전문가 검증에는 전문가 14인이 참여하였고 이 중 심층인터뷰에는 7인이 참여하였다.

생태계서비스 평가지표를 도출하기 위한 2차 전문가 검증은 문헌연구와 환경영향평가서 자료를 통해 평가항목별 후보평가지표를 발굴하고 2012년 6월 5일부터 7월 3일까지 실시하였다. 생태계서비스 평가지표의 신뢰성과 객관성을 확보하기 위하여 2차 전문가 검증에는 환경분야와 개발분야로 전문가그룹으로 구분하여 두 그룹간의 차이를 살펴보았다. 설문조사에 참여한 전문가는 총 40인으로 환경분야 22인과 개발분야 18인이었다. 그 중 심층인터뷰에 참여한 전문가는 31인이었다. 전문가를 통한 검증은 심층인터뷰와 설문조사로 이루어졌는데, 전문가 의견을 구체적으로 들을 수 있는 심층인터뷰에 더 큰 비중을 두어 조사를 진행하였다. 2차 전문가 설문조사방식은 생태계서비스 후보평가지표의 대표성과 측정용이성에 대해 각 5점 척도의 폐쇄형 질문을 하여 직접 전문가가 기입하도록 하였다.

3차 전문가 검증은 문화서비스 평가지표를 도출하기 위해 실시하였다. 문화서비스의 경우, 인간의 이용측면에 대한 평가가 필요하지만 본 연구의 평가단계는

세부 프로그램이 마련되기 전에 개략적인 계획만 있는 상태이기 때문에 직접적인 이용효과를 대체하여 평가할 수 있는 이론과 방법이 필요하였다. 따라서 인간이 이용 가능한 생태공간에 대한 평가를 문화서비스 평가로 대체하는 것이 적절한지에 대한 적합성 검증을 목적으로 3차 전문가 심층인터뷰를 실시하였다.

설문방법은 직접면담을 통한 설문조사와 E-mail 설문을 병행하였다. 면담설문 조사는 전문가를 방문하여 인터뷰를 통해 진행하였다. 질문은 구조화한 설문양식에 기초한 폐쇄형의 표준화된 질문과 전문가 식견을 반영하기 위해 자유응답형 비구조화 방식을 혼합한 반구조화면접법(semi-structured interview)을 사용하였다. 설문분석방법은 Microsoft Office EXCEL 2010을 이용하여 정리 및 분석하였다. 설문조사 결과, 환경과 개발분야 전문가 그룹간의 의견 차이에 대한 검증은 독립표본 T-검정을 실시하였다. 이것은 두 집단 간의 평균이 통계적으로 유의한 차이가 있는지 검정할 때 사용하는 분석방법이다. SPSS Statistics 12.0을 통해 분석하였다.

3) 평가모형의 개발

생태계서비스 평가모형은 개발에 따른 상태변화를 평가할 수 있고 그 결과가 긍정적 또는 부정적인지 쉽게 판별이 가능하며 대상지와 사업별로 비교할 수 있어야 한다. 이를 위해 개발 전·후 생태계서비스 상태변화에 대한 증감정도를 알 수 있고 일정범위의 평가결과 값을 가져 평가점수로 해석할 수 있도록 평가 틀을 설정하였다. 개별 평가지표에 대한 선행연구를 참조하고 택지개발사업의 환경영향 평가단계에서 이용 가능한 자료를 활용하여 측정방법을 도출하였다. 이후 시험적용을 거쳐 정량적으로 평가할 수 있는 지표별 측정방법을 설정하였다.

개별지표의 평가결과를 종합하는 과정에서 전체 생태계서비스 결과에 특정 지표의 평가값이 과도하게 영향을 미치지 않도록 평가값을 표준화하였다. 표준화는 선정된 지표의 크기와 단위에 따른 편차문제를 해소하기 위해 필요한 과정으로

Nardo et al.(2005)는 이러한 표준화 방법을 표 I-2와 같이 소개하고 있다.

표 I-2. 표준화방법

방법	산정식*
Z-스코어(Z-score)	$I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - x_{qc-\bar{c}}^t}{\sigma_{qc-\bar{c}}^t}$
스케일재조정(Re-scaling)	$I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - \min(x_q^{t_o})}{\max(x_q^{t_o}) - \min_c(x_q^{t_o})}$
기준선과의 차이(Distance to reference country)	$I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t}{x_{qc-\bar{c}}^{t_o}} \text{ or } I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - x_{qc-\bar{c}}^{t_o}}{\sigma_{qc-\bar{c}}^{t_o}}$
순위산정(Ranking)	$I_{qc}^t = Rank(x_{qc}^t)$
평균 상·하위지표(Indicators above or below the mean)	$I_{qc}^t = \begin{cases} 1 & \text{if } w > (1+p) \\ 0 & \text{if } (1-p) \leq w \leq (1+p) \\ -1 & \text{if } w < (1-p) \end{cases}$ where $w = x_{qc}^t / x_{qc-\bar{c}}^{t_o}$
순환지표(Cyclical indicators(OECD))	$I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - E_t(x_{qc}^t)}{E_t(x_{qc}^t - E(x_{qc}^t))}$
연간차이 백분율(Percentage of annual difference over consecutive years)	$I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - x_{qc}^{t-1}}{x_{qc}^t}$

* x_{qc}^t 는 시간 t 일 때 c 지역의 지표 q 이다. \bar{c} 는 기준선이다. 연산자 sgn 은 인수에 부호를 부여한다. (만약 인수가 양일 때는 +1이며, 인수가 음일 때는 -1이다.) N_e 는 조사된 전문가 수를 말한다.

자료: Nardo et al.(2005), 백승협 등(2011) 재인용

본 연구에서는 개발 전과 개발 후 상태변화를 파악하기 위하여 전·후평가를 기본으로 하였다. 여러 표준화방법들 중 가장 많이 사용되고 있는 Z-스코어와 스케일재조정방법, 그리고 전·후평가에 로그함수를 사용하여 변형한 결과를 비교하여 최적의 표준화방법을 선택하였다. 각 평가지표는 -1부터 1까지 표준화한 점수 체계로 평가하고 이를 종합하여 생태계서비스 평가결과 값으로 산출하였다. 이를 종합하는 과정에서 개별 평가지표가 가지는 중요도 차이를 반영하기 위해 생태계 서비스 유형과 지표별 상대적 중요도에 대한 전문가 설문조사를 거쳐 가중치를 산정하고 평가모형에 반영하였다.

가중치는 연구내용의 특성에 따라 다른 방법을 사용한다. 가중치 산정에는 요인분석(Factor Analysis) 방법, 엔트로피(Entropy) 방법, 계층분석기법(Alytic Hierarchy Process), 컨조인트(Conjoint Analysis) 방법, 델파이(Delphi) 기법, 동일가중치법과 점수할당법(Point Allocation Method) 등 다양한 방법이 있다(Giovannini et al., 2008). 요인분석은 많은 변수들의 상호 관련성을 소수 요인으로 추출하고 전체변수들의 공통요인을 찾아내어 각 변수가 받는 영향 정도와 그 집단의 특성을 규명한다. 엔트로피 방법은 Shannon and Weaver(1949)가 개발하였고 개발대안과 속성을 많이 포함하는 다기준 의사결정 문제에 대해 사용자 주관에 고려하지 않고 지표의 속성 정보만을 이용하여 가중치를 산정한다. 계층분석기법은 Saaty(1980)가 개발한 기법으로 몇 개 대안 중에서 최선의 대안을 선택하는 의사결정기법이며 일명 AHP기법이라고도 불린다. 불분명한 문제를 선택할 때 문제를 계층적으로 분석하여 평가할 수 있고, 정성적인 특성들을 정량적인 판단기준에 따라서 평가할 수 있으며, 다수 관계자들의 의견을 반영하여 보다 객관적이고 일관된 평가를 할 수 있는 이론이다. 설문을 통한 방법들 중 가장 널리 응용되고 있으며 의사결정문제를 계층화하여 각 평가기준 관점에서 대안들과 평가기준들 간의 상대적 중요도를 쌍대 비교하여 측정하는 방법이다(김응석, 2008).

본 연구는 생태계서비스 유형과 지표들이 계층화되어 있고 전문가 조사에 기반을 둔다는 측면에서 계층분석기법(AHP)을 반복 사용하여 가중치를 도출하였다. AHP기법의 가장 큰 특징은 인간의 사고체계와 유사하게 문제를 분석하고 구조화한다는 점과 모형을 이용하여 상대적 중요도를 체계적인 비율척도(ratio scale)화하여 정량적 형태의 결과를 얻을 수 있는 점에서 그 유용성을 인정받고 있다. 뿐만 아니라 적용절차가 간결하고 척도선정, 가중치 산정절차와 민감도 분석 등에 사용되는 각종 기법이 실증분석과 엄밀한 수리적 검증과정을 거쳐 채택한 방법들을 활용한다는 점에서 이론적으로 높이 평가받고 있다(김영인과 여홍구, 2009).

AHP를 활용하기 위해 전문가를 대상으로 설문조사를 실시하였다. 조사표(부록 4)는 표 I-3과 같이 쌍대비교형으로 설문하였다. AHP에는 Saaty가 제안한 9점 척도가 많이 이용되고 있다(Saaty, 1982). 각 설문항목의 상대적 중요도는 표 I

-4의 9단계 척도에 따라 동등을 기준으로 1점, 각 항목의 최고점수는 9점을 부여하였다. 응답 결과를 분석하여 각 요인들 간에 가중치를 산출하였다.

표 I -3. 9단계 척도에 의한 중요도 설문 예시

A	절대 중요	매우 중요	중요	중요	중요	중요	중요	중요	중요	중요	중요	중요	중요	중요	중요	중요	중요	B
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
농산물생산량																		침투량

표 I -4. AHP 설문 평가척도

중요도 척도	정 의	설 명
1	동등	A와 B의 중요도가 같다(Equal importance)
3	조금 중요함	A가 B보다 약간 더 중요하다(Moderate importance)
5	중요함	A가 B보다 중요하다(Strong importance)
7	매우 중요함	A가 B보다 매우 중요하다(Very strong importance)
9	절대 중요함	A가 B보다 절대적으로 중요하다(Extreme importance)
2, 4, 6, 8		위 중요도의 중간 값

자료 : Vargas(1990), 안진성(2011) 재수정

AHP 분석에는 응답자가 일관성 있게 응답하는 것이 분석결과의 신뢰도에 결정적인 역할을 하기 때문에 일관성을 검증한다. 항목수가 많고 비교횟수가 증가하면 실제 응답에서 쌍대비교를 거친 응답이 불완전한 일관성을 갖게 되는 경우가 대부분이다. Saaty는 이러한 문제에 대한 진단방식으로 평가자가 일관성 있는 판단을 내렸다고 검증할 수 있는 일관성지수(Consistency index: CI)를 개발하였다. 일관성지수(CI)는 비일관성비율(inconsistency ratio: IR)과 무작위지수(RI)의 곱으로 산출되는데, 비일관성 비율이 0.1미만이면 즉, 10% 내에 들어오는 판단에 대해서는 합리적인 일관성을 갖는 것으로 보았다. 0.2 이내일 경우는 용납이 가능하지만 그 이상이 되면 일관성이 부족하여 재조사가 필요하다고 제안하였다(Saaty, 1980). 본 연구에서는 회수된 설문지에서 서비스별, 각 지표별 비일관성 비율을 산출하였다.

AHP 조사에 참여한 전문가는 생태계서비스 평가지표 도출 또는 산정과정에서 자문 또는 설문에 참여한 정부기관, 연구기관, 교육기관, 민간기업 등에 속한 50명을 대상으로 하였다. 설문조사는 2013년 2월 20일부터 2013년 3월 1일까지 그리고 3월 5일부터 3월 14일까지 두 차례에 걸쳐 실시하였다. 이를 통해 생태계서비스 유형별 중요도와 각 평가지표 중요도를 최종 가중치로 도출하여 평가모형에 적용하였다. 자료정리는 Microsoft Excel 2010, AHP에는 Microsoft Excel 2010과 SPSS Statistics 12.0을 사용하였다.

4) 평가모형의 적용

택지개발사업이 생태계서비스에 미치는 영향을 평가하기 위해 개발된 생태계서비스 평가모형을 4개 보금자리주택지구에 적용하여 분석하였다.

본 연구 분석에 활용한 자료는 사례대상사업의 환경영향평가를 기본으로 하였다. 개발 전 대상지는 2009년 환경부 토지피복지도 중분류를 기준으로, 개발 후는 환경영향평가서의 토지이용계획도를 기준으로 하였다. 그 외 각 평가지표에 따라 토양도, 생태자연도를 이용하였고 ArcGIS 9.3으로 분석하였다. 여기서 대지안의 공지⁴⁾는 환경영향평가서에 제시된 토지이용계획에 반영되지 않아서 본 연구에서 제외하였다.

보금자리주택지구 개발사업이 생태계서비스에 미치는 영향을 종합 분석하여 개발사업 환경영향평가 단계에서 생태계서비스 평가와 연계방안을 제시하였다.

4) 대지 안의 공지: 대지 안의 통풍, 개방감 확보, 피난통로 확보 등을 통한 도시 및 주거환경을 향상하기 위하여 건축선과 인접 대지경계선으로부터 건축물의 각 부분간의 이격으로 확보되는 공지를 말한다. 「건축법」 제58조에 따라 건축물을 건축하는 경우에는 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」에 따른 용도지역, 용도지구, 건축물의 용도와 규모 등에 따라 건축선 및 인접 대지경계선(대지와 대지 사이에 공원, 철도, 하천, 광장, 공공공지, 녹지, 그 밖에 건축이 허용되지 아니하는 공지가 있는 경우에는 그 반대편의 경계선을 말한다)으로부터 6m 이내의 범위에서 「건축법 시행령」 제80조의2에서 정하는 바에 따라 해당 지방자치단체의 조례로 정하는 거리 이상을 띄워야 한다.(자료: 국토교통용어사전, 국토교통부, <http://www.mltm.go.kr>).

II. 관련 이론 및 선행연구 고찰

1. 생태계 가치와 지속가능성

1) 생태계 가치의 중요성과 지속가능성 평가

개발에 대한 의사결정에서 자연생태계 가치를 인식하는 것이 중요하다. 개발 편익은 쉽게 평가할 수 있는 반면에 개발로 훼손되는 생태계는 시장거래나 경제적 원리에 따라 생산·배분되지 않아(Costanza et al., 1997) 제대로 평가받지 못하고 있다(Odum and Nilsson, 1996). 각종 개발사업의 시행으로 인해 국토자원의 고갈과 심각한 환경문제에 직면하게 되었고, 국토개발과정에서 개발과 보전 사이에 첨예한 대립과 갈등을 겪는 사례가 빈번하게 발생하고 있다(김선희 등, 2004). 이런 문제점에 대한 인식이 높아지면서 지속가능한 발전(sustainable development)을 추구하는 패러다임의 전환을 가져왔다.

지속가능한 발전에 대한 논의는 1972년 스톡홀름 유엔인간환경회의에서 시작된 이래(정희성과 윤갑식, 2003), 1987년 환경과 개발에 관한 세계위원회(WCED: World Commission on Environment and Development)의 ‘우리 공동의 미래’ 보고서에서 미래세대의 필요를 충족시킬 수 있는 능력을 저해하지 않으면서 현재 세대의 필요를 충족시키는 발전의 개념으로 정립되었다(WCED, 1987). 1992년 유엔환경개발회의(UNCED: United Nations Conference on Environment and Development)에서 ‘리우선언’과 ‘의제21’을 채택하여 지구환경보전과 발전을 조화하는 방향을 제시하였다. 현대 산업사회의 발전지향적인 활동에 경종을 울리고 자연과 인간의 공존을 통해 인류의 지속적인 생존을 담보하기 위한 국제적인 노력이라고 볼 수 있다. 이것은 자연의 환경용량을 초과하지 않는 범위 내에서 개발행위가 이루어져야 함을 의미한다(UNCSD, 1996).

환경용량(environmental capacity)은 생태학에서 논의되는 최대지속가능생산량, 수용능력과 자정능력 등 개념에서 발전된 용어이다(정희성과 윤갑식, 2003).

자연 스스로 원래 상태를 유지할 수 있는 최대 능력을 양으로 환산한 개념이다. 자연생태계 가치를 고려하여 환경용량과 지속가능성을 평가하기 위한 다양한 평가방법들이 연구되고 있다. Odum and Nilsson(1996)은 시스템 생태학적 관점에서 자연환경과 사회경제활동의 관계를 정량적으로 규명하고 지속가능성과 환경용량을 동시에 평가할 수 있는 에머지 분석을 제안하였다. 에머지 분석은 다양한 환경자원들을 에너지라는 공통단위로 표시하고 서로 다른 특성을 가진 자원들을 동일한 기준으로 비교한 것이다. 또한 인간이 필요한 서비스나 생산물의 가치를 평가할 때 기존 화폐단위 평가에서 충분히 반영하지 못했거나 제외된 자연환경과 인간 노동력을 포함하여 평가한 것이다(Odum 1983; Odum and Nilsson, 1996). 이와 같은 에머지 분석은 국가를 대상으로 실시하거나(Ulgiati et al., 1994; Lee and Odum, 1994), 도시의 지속가능성을 평가하여(이창우와 오용선, 1999; 손지호와 이석모, 2000), 자연환경 보전과 이용에 대한 정책적 판단을 지원하고(이우성 등, 2006; 강대석, 2010), 에머지 편익-비용평가를 통해 생태계 보전 중심의 관리 또는 이용 방안을 제시한 것이다(강대석, 2005).

Wackernagel and Rees(1996)는 생태적 발자국(EF: Ecological Footprint) 지수를 이용한 환경수용력 분석을 고안하였다. 생태적 발자국 분석은 특정한 지역이나 국가의 경제활동에서 소비되는 자원을 생산적인 토지면적단위로 환산하는 것이다. 그 지역 사람들이 현재 수준으로 자원을 소비하고 쓰레기를 배출하는 데 필요한 땅의 면적을 나타내며 일정지역의 환경용량을 간단한 수치로 보여주는 것이다(Wackernagel et al., 1999). 생태적 발자국 지수는 지구, 국가, 그리고 지역 단위에서 종합적인 환경용량과 지속가능성을 평가하기 위해 다양하게 활용되고 있다(정성관과 이우성, 2009).

이상의 방법들은 국가 또는 도시규모의 지속성 평가에 화폐단위 대신 에너지 또는 토지면적을 기본단위로 사용하여 개발과 보전의 조화를 도모하는 발전을 추구하고 있으나, 개발사업 대상지에 적용한 연구는 미흡한 실정이다. 다만 개발행위를 평가하는 방법으로 지속가능성 평가지표를 도출하여 평가한 연구는 다수 있어 이를 참조하여 연구를 진행하였다.

2) 개발에 대한 지속가능성 평가지표

지속가능성 평가지표는 지역적 범위를 기준으로 구분할 수 있다. 즉, 국가적 차원, 도시와 지역적 차원, 그리고 개발단지와 같은 단일 개발사업에 따른 지속성 지표로 분류할 수 있다. 여기서 지표란 ‘가리키다’ 혹은 ‘나타내다’(proclaim) 등을 의미하는 라틴어 indicare에서 유래한 것으로서, 복잡하거나 모호한 현상 혹은 대상을 단순화하거나 이해하기 쉽게 나타내는 역할을 한다. 효과적인 지표는 소통(communication), 단순화(simplification) 및 수량화(quantification) 등의 일반적 속성을 가지게 된다(Aall, 2005).

지표를 개발함에 있어 핵심은 측정이나 평가하려는 속성을 가장 잘 표현하는 지표를 정의하고 선택하는 것이라고 할 수 있다(김호석 등, 2007). 개발절차는 평가요소를 도출하고 지표와 적합한 평가방법을 선정한 다음 지표별 가중치 산정과 평가모형화 순으로 대부분 이루어졌다. 평가요소는 객관적으로 평가 가능한 요소를 중심으로 대분류, 중분류, 및 소분류 위계에 따라 분류하여 추출하였다. 소분류 지표들은 기존 연구자료를 바탕으로 의미가 일치하지 않거나 참고하기 어려운 것은 일부 재설정하거나 자의적으로 설정하였다. 선정된 지표의 평가방법은 평가대상의 속성을 고려하여 평가등급을 설정하고 등급에 따라 평가점수를 부여하였다. 각 지표의 영향력 분석은 전문가 집단을 구성하여 계층분석기법(AHP)을 적용하였다(배승중, 2005; 유현석 등, 2011). 평가지표가 다양한 값을 가진 경우에는 평가점수로 활용하기 위해서 통계식을 이용하여 표준화된 값으로 변환하였다(이우성, 2011). 평가모형에 적용하는 지표의 가중치 산정방법은 연구자 주관이나 전문가 견해를 반영하여 지표를 단순화시킨 다음 AHP를 사용하여 가중치를 도출하는 것이 적합하다고 제시하였다(이관규와 양병이, 2001).

국가단위의 지속성 평가에 대해 세계경제포럼(WEF: World Economic Forum)에서는 전 세계국가의 환경성과를 비교 평가하여 발표하고 있다. 여기서 사용한 환경성과지수(EPI)는 지속가능한 발전 개념이 제시된 이후 Yale Center for Environmental Law and Policy(YCELP)와 Center for International

Earth Science Information Network(CIESIN)의 공동연구를 통해 개발되었다(차용진, 2008). EPI는 건강에 미치는 환경영향을 감소시키고, 생태계 훼손과 자연자원 감소를 억제하는 정도를 측정하는데 주안점을 두고 있다(김유나와 문태훈, 2009). 2008년 WEF에서 발표한 EPI에서는 환경보건(environmental health)과 생태계 지속성(ecosystem vitality)의 2개 핵심구성요소를 제시하고 환경성과는 각 핵심구성요소에서 높은 수준의 성과를 산출하는 능력이라고 하였다(Esty et al, 2008). EPI는 국가의 환경성과 자료 위주로 분석하고 비교하여 국가의 전략적 정책방향을 결정하는데 도움을 주고 있다. 그러나 개발사업이 대상인 본 연구에 적용하는 것은 그 규모와 범위가 적합하지 않다.

도시단위의 지속가능성 평가에 대한 지표 연구는 지속가능성 상태를 평가하거나 지속가능한 도시 또는 단지를 조성하기 위한 측면에서 이루어져 왔다. 도시의 지속가능성 상태를 비교 평가하기 위해 국가지속가능발전지표를 바탕으로 환경, 사회, 경제부문의 정량적 지표체계를 구축하여 대도시 간에 비교 평가하였다(김재한, 2007). 환경적 지속성을 중심으로 우리나라에서 지속가능한 도시건설을 평가할 수 있는 도시지속성 지표를 제안하였다(이동근과 전성우, 1997). 지속가능한 도시개발을 위해 인간과 자연의 공생 관점에서 토지이용변화와 환경부하를 유발하는 압력에 대응하는 상태지표를 고려하였다(이동근과 윤소원, 1998). 도시개발 사업에서 건축물 또는 시설물에 대한 물리적 환경특성을 평가할 수 있는 지표를 개발하였다(유민수 등, 2008).

지속가능한 도시 또는 주거단지를 조성하기 위한 수단으로 평가지표와 평가지수 연구도 이루어져 왔다(표 II-1). 지속가능한 도시계획분야의 기초를 토지이용 부문으로 보고, 자연과 인간의 공존, 자연 및 생태계보전을 위한 토지이용 등의 기본원칙과 이를 평가할 수 있는 환경성, 자연성, 보존성과 순환성 등의 항목으로 분류하여 지표를 설정하였다. 토지이용의 평가시기는 계획 및 개발단계와 사후 운영 및 관리단계로 구분하였다(변병설과 주용준, 2000). 도시에서 인간과 자연이 공존하는 한국형 생태도시 조성을 위해 우리나라의 기술수준과 경제측면에서 실천가능한 계획지표를 개발하였다(이재준, 2005).

표 II-1. 국내 지속가능성 평가지표 선행연구

선행연구	대상*	내용	분야	특징
변병설과 주용준(2000)	신도시	지속가능한 도시 조성 을 위한 토지이용 부 문지표(22개) 제시 및 평가	기본적 수요충족, 자연과 인간 공존, 자연 및 생태계보존, 자연 및 에너지 효율적 순환 (4범주)	계획·개발/사후 운영·관리단계 *5개 신도시 평가
이재준(2005)	도시	한국형 생태도시 핵심 계획지표(30개) 제시	토지이용·교통·정보통신, 생태·녹지, 물·바람, 에너지, 환경·폐기물, 어메니티(6범주)	계획 설계단계 지표 제시
박원규(2002)	주거단지	지속가능한 주거단지 계획요소(55개) 제시	토지이용, 오염·폐기물, 에 너지, 자연자원(19개)(4범주)	계획단계 요소 제시
양병이와 이관규(2002)	단지규모 개발사업	지속가능성 평가지표 (26개) 제시 및 평가	녹지(식물), 토지(토양), 수 환경, 대기환경, 동물(생물), 에너지·폐기물, 교통(7범주)	계획 및 설계 단계 *19개 단지 평가
이관규(2003)	아파트 단지	녹지 지속가능성 지표 제시 및 평가(10개)	녹지	계획 및 설계 단계 *57개 단지 평가
이규인(2003)	주거단지	주거단지계획의 환경 적 지속성 평가지표와 기준 제시(12개 지표)	토지이용, 교통 및 통신, 에너지 및 자원이용, 생태적 환경조성(4범주)	계획 및 설계 단계 지표별 평가기준 제시
이규인과 김민석(2010)	공동주택	생태적 공동주택 외부 공간 평가기준(18개 지표)	녹지공간, 수체계, 자원 및 에너지(3범주)	친환경인증제도 접목
유현석 등 (2011)	개발사업	종합환경평가지수 (11개 지표)	생태적, 자원보전적, 어메 니티 측면(3범주)	환경영향평가 단계

* 개별 논문에서 사용한 용어를 그대로 기재

이들 선행연구들을 요약하면, 단지규모 개발사업에서 환경적 지속가능성을 확보하기 위해 아파트단지 개발사업과 도시 인공화지역을 대상으로 계획 및 설계단계에서 적용할 수 있는 실천적 평가지표를 녹지, 토지, 수환경, 대기환경, 에너지와 폐기물, 교통부문의 평가영역에 대하여 개발하였다(양병이와 이관규, 2002). 아파트단지를 대상으로 계획 및 설계단계에서 적용할 수 있는 녹지량, 서식기반 녹지, 다양성, 자연녹지보전, 녹지자원순환 등 녹지부문의 지속가능성 지표를 개발하였다(이관규, 2003). 주거단지에서 지속가능한 개발의 개념을 정립하고 우리나라의 개발 현실을 감안하여 토지이용, 오염 및 폐기물, 에너지 자연자원분야의

지속가능한 계획원리와 요소를 적용할 수 있는 계획모형을 개발하였다(박원규, 2002). 우리나라의 주거단지 개발 시 토지이용, 교통 및 통신, 에너지 및 자원의 이용, 생태적 환경조성 등 4대 이슈를 중심으로 환경적 지속성을 평가할 수 있도록 지표의 평가기준을 설정하였다(이규인, 2003). 공동주택의 외부공간에 생태계 원리를 적용하여 계획단위의 분류방식인 녹지공간, 수체계, 자원 및 에너지의 범주에 따라 평가지표와 정량적 기준을 설정하였다(이규인과 김민석, 2010). 개발사업의 환경영향평가 검토 시 객관적이고 과학적인 근거 아래 의사결정이 될 수 있도록 지속가능한 개념에 입각하여 친환경적 계획의 원칙으로 생태적, 자원보전적, 어메니티 측면에서 접근하여 종합환경영향평가지수를 개발하였다(유헌석 등, 2011).

이상의 지표 연구들은 도시와 단지규모의 지속가능성 평가를 하기 위해 환경적 지속성을 중심으로 생태계 원리나 생태적 요소를 포함하여 지표 또는 지수를 개발하였다. 그러나, 환경영향평가 이후 진행되는 조경설계, 단지내 포장설계 또는 건축설계단계에서 평가가 가능하거나, 도시계획에서 검토 가능한 부분과 환경분야 이외 교통성 검토 등 여러 부분의 지표를 포괄하고 있었다. 또한 개발 전과 개발 후 상태변화를 토대로 평가한 것이 아니라 개발 후 상세계획을 평가함에 따라 개발에 따른 영향을 평가하기 어려우며, 생태계의 일부 기능에 대해서만 평가한 한계를 가진다고 볼 수 있다.

한편 본 연구에서 택지개발의 개발 전과 개발 후 상태변화에 대한 전·후평가를 통해 생태계가 갖는 기능을 종합적으로 평가하여 생태계서비스 증진을 도모하는 방안을 찾는 것이다. 따라서 앞에서 살펴 본 개발에 대한 지속가능성 평가지표에 대한 연구와 개발사업의 환경영향평가 단계에 적용할 수 있는 생태계서비스 평가에 대한 본 연구와는 차이가 있다.

2. 생태계서비스의 개념 정립

1) 생태계서비스의 개념

자연생태계와 인간의 관계에 주목하여 나타난 것이 생태계서비스이다. Costanza and Folke(1997)에 따르면 생태계서비스는 지구생태계 안에서 인간사회와 생태계를 연결하고 자연에 대한 인간의 의존성과 인간의 환경에 대한 영향이 증가하고 있음을 반영한 개념이다. 인간이 생태계로부터 직·간접적으로 다양한 혜택을 받는 한편 인간의 삶이 자연에도 영향을 끼치고 있음을 보여 주고 있다(그림 II-1).

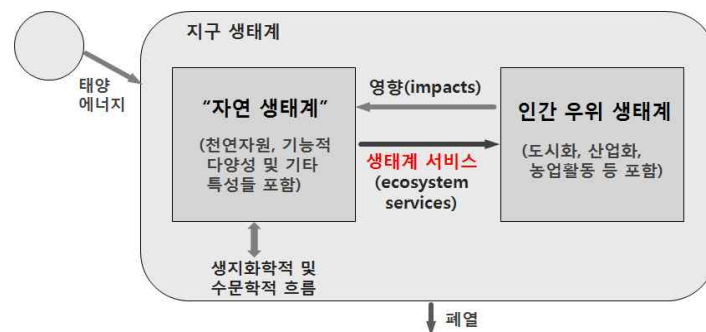


그림 II-1. 생태계서비스의 개념도
(Costanza and Folke, 1997, 재수정)

생태계서비스에 대한 아이디어는 이보다 훨씬 전인 1959년으로 거슬러 올라간다(표 II-2). Odum(1959)이 생태계 일부로 인간집단을 표현하여 자연과 인간의 연관성을 나타낸 것에서 시작(Vihervaara et al., 2010)되었다고 볼 수 있다. 이후 자연의 기능에 대한 사회적 가치를 제기하였고(Ehrlich et al., 1977), 자연자원에 사회와 경제적 의존성을 강조하기 시작하면서(De Groot, 1987) 생물다양성 보존이 필요하다는 주장도 등장하였다. 실제 생태계서비스란 용어는 1981년 Ehrlich and Ehrlich가 처음 사용하였다(Ehrlich and Ehrlich, 1981).

표 II-2. 생태계서비스 개념의 발전과정

시기	단계	내용
1950년대	개념의 기원	· Odum(1959)은 '생태학의 기초' 저서에서 자연자산과 생태계의 일부로 인간집단을 표현
1961-1970	개념의 태동	· 자연의 기능에 대한 사회가치가 제기
1971-1980	개념의 인식	· 생물다양성 보존에 대한 대중의 관심을 끌기 위해 자연자산에 사회와 경제적 의존성을 강조 시작
1981-2000	개념의 성장 (지속가능성 과학의제로 부각)	· Ehrlich(1981)가 생태계서비스 용어 처음 사용 · Daily(1997) 저서 '자연의 서비스 : 자연생태계에 대한 사회 의존성' 발표 · Costanza(1997) 논문 발표 후 지구 자연자산에 대한 가치연구 본격화
2001-현재	개념의 적용, 확대 (정책의제로 자리매김)	· 유엔 주도의 새천년생태계평가(MA) 수행(2001.6-2005.5) · 관련 연구가 전세계적으로 급증, 정책과정에 적용하기 위해 다학제 간의 다양한 이해관계자 참여하에 다양한 연구가 진행되고 있음

1997년 자연서비스는 자연생태계에 대한 사회의존성을 나타낸다는 Daily 저서 (Daily, 1997)와 생태계서비스와 지구 자연자원의 가치를 산정한 Costanza 논문 (Costanza et al., 1997)을 통해 생태계서비스 개념의 주류화가 이루어졌다고 볼 수 있다. 2000년대 들어서는 유엔 주도로 세계 95개국 1,300여명의 전문가가 모여 생태계 변화가 인류복지에 미치는 영향을 평가한 새천년생태계평가(MA, Millenium Ecosystem Assessment)를 통해 생태계서비스 개념 확대에 큰 진전이 있었다. MA 이후 과학적 이슈였던 생태계서비스가 의사결정단계에서 고려할 정책의제로 자리잡게 되었다(Gómez-Baggethum et al., 2010). 새천년생태계평가는 생태계서비스에 대한 개념적 틀을 제공하였다(MA, 2005). 이것은 인류복지를 위해 생태계 보존과 지속가능한 이용을 증진시키는 데 필요한 행동들의 과학적 근거를 마련하고, 생태계가 제공하는 제품과 서비스에 대하여 설명함으로써 정책결정자와 이해관계자 모두 쉽게 이해하는데 도움을 주었다. 새천년생태계평가(MA)는 기후변화에 관한 정부 간 패널(IPCC)보고서와 더불어 세계 각국의 환경정책에 결정적인 영향을 준 보고서로 평가(TEEB, 2010)되고 있다.

생태계서비스 정의에 대하여 새천년생태계평가(MA)는 인간이 생태계를 통해 얻을 수 있는 직·간접적인 각종 혜택이라고 하였다. 이러한 혜택은 생활을 위한 요소, 안전, 건강과 같은 인간의 삶의 질 향상에 중요한 영향을 미치나 그 영향력은 서로 간에 차이가 있다고 보았다(그림 II-2).

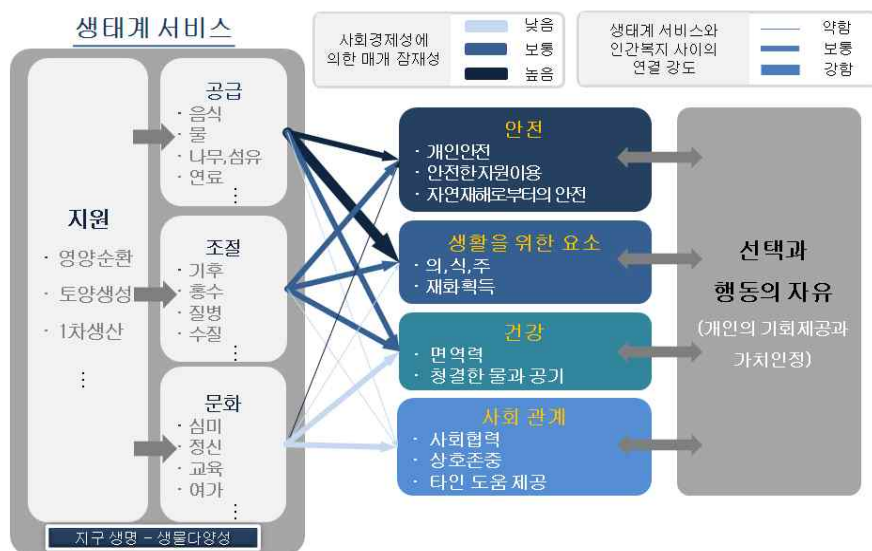


그림 II-2. 생태계서비스와 인간복지 영향과의 관련성
(MA, 2005, 재수정)

다른 정의를 살펴보면, 자연생태계와 이를 구성하는 생물종들이 인간의 삶을 지탱하고 충족시키는 조건과 과정이라고 하였고(Daily, 1997), 생태계 재화(음식물 등)와 서비스는 생태계 기능으로부터 인간이 직·간접적으로 얻는 편익이라고 하였으며(Costanza et al., 1997), 인간복지에 기여하도록 생태구성요소가 직접적으로 소비되는 것(Boyd and Banzhaf, 2007)이라고 보았다. 이들 정의를 종합하면, 생태계서비스는 결국 인간이 생태계 기능으로부터 삶을 유지하고 혜택을 받고 있으며 인간복지에 생태계의 기능을 연결한 중요한 모델(Fisher et al., 2009)이라고 할 수 있다(그림 II-3).

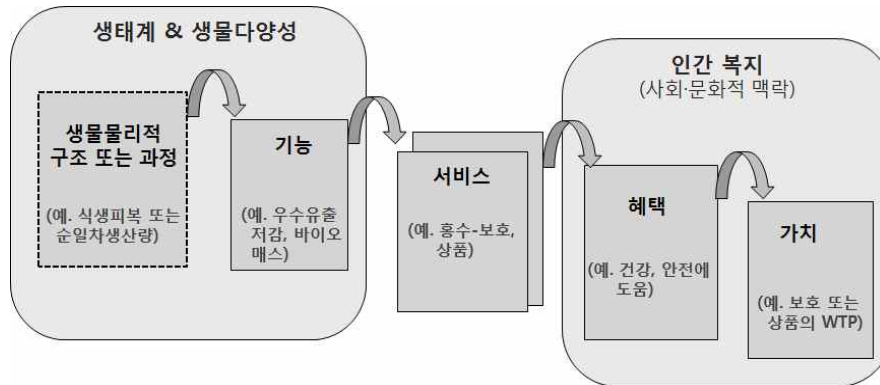


그림 II-3. 생태계 & 생물다양성과 인간복지간의 관계
(Haines-Young and Potschin 2010, 재수정)

2) 생태계서비스의 유형

생태계를 통해 얻는 다양한 혜택을 파악하고 생태계서비스 개념을 정책결정과정에 적용하기 위해 생태계서비스 분류체계에 대한 연구가 진행되어 왔다(Daily, 1997; De Groot et al., 2002; De Groot, 2006; MA, 2005; Boyd and Banzhaf, 2007; Fisher and Turner, 2008). 이들 분류기준들은 생태계가 인간에게 제공하는 생태계 기능(Costanza et al., 1997), 상품과 서비스를 생산하고 제공하는 과정(Daily, 1999), 생태계서비스 역할(MA, 2005), 또는 상품과 서비스를 제공하는 생태계 능력(De Groot et al., 2010) 등에 기초하여 분류하고 있으며 대부분 새천년생태계평가(MA)와 같이 4개 그룹으로 구분할 수 있다(표 II-3).

첫째, 인간에게 필요한 식량과 원료물질 등의 상품을 생산하고 공급하는 서비스(Provisioning services)이다. 둘째, 대기질 조절, 기후조절, 질병조절 등의 생명지원시스템과 생태계 과정들을 조절하는 생태계 기능과 관련된 서비스(Regulating services)이다. 셋째, 광합성, 토양의 생성, 영양영류 순환, 서식처 제공기능을 포함하는 지원서비스(Supporting services)이다. 넷째, 문화적 다양성, 종교와 성소로서의 가치, 심미적 가치 등의 서비스를 제공하는 문화서비스

표 II-3. 생태계서비스의 분류체계

구분	I 그룹	II 그룹	III 그룹	IV 그룹
Costanza et al. (1997)	<ul style="list-style-type: none"> · 식량생산 · 원료물질 · 유전자원 · 용수공급 	<ul style="list-style-type: none"> · 가스조절 · 물조절 · 폐기물처리 · 침식방지 및 퇴적유지 · 식물의 수분 · 교란조절 · 기후조절 · 생물학적 방제 	<ul style="list-style-type: none"> · 영양염 순환 · 토양생성 · 레퓨지아 	<ul style="list-style-type: none"> · 레크리에이션 · 문화적
Daily (1999)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 상품의 생산 · 내구성 있는 물질 (천연섬유, (목재용) 수목) · 에너지(바이오매스 연료) · 공산품 · 제약품 · 유전자원 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 재생 과정 · 순환과 여과과정 · 이주과정(종자살포, 식물의 수분) ○ 안정화 과정 · 물순환의 조정 · 해안과 강의 수로 안정성 · 극한 기후의 완화 · 해충구제 · 다른 종을 위한 한 종의 보상 	-	<ul style="list-style-type: none"> ○ 삶 충족 기능 · 심미적 아름다움 · 문화적, 지적, 그리고 정신적 영감 · 과학적 발견 · 평온 · 존재가치 ○ 선택권의 유지 · 미래공급을 위한 생태 구성요소와 체계 유지
MA (2005)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 공급서비스 · 식량 · 섬유 · 바이오매스 연료 · 생화학약품, 자연약재 등 · 장식품 · 유전자원 · 담수 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 조절서비스 · 대기질 조절 · 물 조절 · 수질정화 및 폐기물 처리 · 침식조절 · 식물의 수분 · 폭풍우 보호 · 기후조절 · 인간질병 조절 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 지원서비스 · 영양염 순환 · 토양생성과 보유 · 광합성 · 일차생산 · 물순환 · 서식지공급 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 문화서비스 · 레크리에이션과 생태관광 · 문화유산과 생물다양성, 장소성 · 심미적 가치 · 영감 · 정신적 종교적 가치 · 교육적 가치 · 지식체계
De Groot et al. (2010)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 공급서비스 · 식량 · 섬유, 연료, 다른 원료물질 · 생화학생산물과 의료자원 · 장식용 생물/자원 · 유전물질 · 용수 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 조절서비스 · 대기질 조절 · 물 조절 · 폐기물 처리 · 침식조절 · 식물의 수분 · 자연재해완화 · 기후조절 · 생물학적 조절 	<ul style="list-style-type: none"> · 토양생성과 재생 ○ 서식지 또는 지원서비스 · 유전자공급원 생산 · 묘목장 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 문화 & 에메니티 · 레크리에이션과 관광 · 문화유산과 동질성 · 문화예술과 디자인을 위한 영감 · 정신적 & 종교적 영감 · 교육 & 과학

(Cultural services)가 해당된다(Boyd and Banzhaf, 2007; Wallace, 2007; Fisher and Turner, 2008).

생태계서비스 평가에서 서비스 유형은 개념적 이해를 바탕에 둔 평가의 기초적인 틀로써 중요하며(Fisher et al., 2009) 이들 유형에 따른 특징이 평가의 출발이 된다고 볼 수 있다(표 II-4).

표 II-4. 생태계서비스의 유형별 특징

유형	특징	종류
공급서비스	<ul style="list-style-type: none"> ○ 인간이 직접적으로 이용할 수 있도록 물질적 편익을 제공하는 생태계 기능 · 자연생태계로부터 얻는 생산물(재화) · 자연생태계가 생물적 유전자원의 다양성을 통해 인간에게 제공하는 서비스 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 생태계로부터 얻는 생산물(재화) · 식량, 섬유, 생화학물질, 천연약재 및 의약품, 장식용 자원, 용수 등
조절서비스	<ul style="list-style-type: none"> ○ 인간의 생활에 피해를 주는 요소를 저감시키는 생태계 기능 · 생태계과정을 조절함으로써 얻어지는 편익 · 자연과 반자연 생태계의 역할과 관련한 생물·지리화학적 순환(bio-geochemical cycles)과 생태계를 조절 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 생태적 과정을 조절하여 얻어지는 편익 · 기후조절, 대기질 조절, 수질정화, 침식보호 등
지원서비스	<ul style="list-style-type: none"> ○ 인간 이외 생물의 생존에 적합한 환경을 제공하는 생태계 기능 · 다른 생태계서비스를 생산하기 위해 필요 · 다른 서비스는 직접적이고 단기적으로 사람에게 영향을 주지만, 지원서비스는 간접적이고 장기간에 걸쳐 영향이 나타남 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 공급, 조절, 문화서비스를 함께 향상시켜 생물 생존에 적합한 환경 유지 · 토양생성, 영양염 순환, 광합성, 일차생산, 서식지 제공, 물순환 등
문화서비스	<ul style="list-style-type: none"> ○ 인간이 생태계를 인식하고 이용하도록 비물질적 편익을 제공하는 생태계 기능 · 생태계로부터 얻는 비물질적 편익 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 생태계로부터 얻는 심미적, 지적·정신적 가치 · 레크리에이션과 생태관광, 정신적·종교적 가치, 교육적 가치, 심미적 가치, 지식체계 등

생태계서비스의 공급과 수혜 측면에서 살펴보면, 공급서비스와 문화서비스는 각각 생태계로부터 직접적으로 받는 물질적 편익과 비물질적인 편익을 말하고 이들 서비스는 혜택의 수혜자가 있는 서비스 자체로써 인간복지에 직접적인 영향을

주는 서비스로 볼 수 있다. 반면에 조절서비스는 생태계 과정을 조절하면서 얻어지는 편익이고 지원서비스는 공급과 조절 그리고 문화서비스를 생산하는데 도움을 주는 서비스로써 서비스를 달성하는 과정에서 인간복지에 간접적인 영향을 주는 서비스라고 볼 수 있다(Wallace, 2007; Mäler et al., 2008; Fisher et al., 2009). 그러나 이상과 같은 개념 체계는 일반적으로 받아들여지고 있지만 생태계 기능과 서비스, 그리고 혜택간의 구분은 모호하여(De Groot et al., 2010) 여전히 논쟁이 계속되고 있으며 이에 대한 연구는 아직 미흡한 실정이다. 따라서 인간복지와 연관되는 생태계서비스 평가를 시도하는 것은 국내·외적으로 관련 연구가 부족한 상황에서 그 의미가 상당하다고 할 것이며, 특히 전체 생태계서비스 혜택을 도출하는 차원에서 인간에게 직·간접적 편익을 주는 모든 유형의 생태계서비스를 종합적으로 평가해 볼 수 있다면 더욱 그 의미가 크다고 하겠다.

3. 생태계서비스의 평가모형

1) 평가모형의 개념

평가모형이란 어떤 평가를 실시함에 있어 평가 목적을 효과적으로 달성하기 위해 최적의 결과를 유도해내는 전체 의사결정과정을 말한다(Spellerberg, 1994). 특정한 방식을 적용하여 평가방법과 절차를 체계화한 것이라고 할 수 있다(서민원, 2004). 이것은 평가대상이 되는 개별 항목들에 대해 가치를 부여하는 과정뿐만 아니라 객관적인 지식에 근거하여 목적과 구체적인 목표를 세우고 평가항목을 선정하여 평가하는 전 과정을 의미하는 것이라 할 수 있다(Spellerberg, 1994).

본 연구에서 평가모형이란 택지개발사업이 시행되는 대상지내 생태공간에서 개발 후 생태계서비스의 상태변화를 평가하기 위한 방법을 개발하는 전 과정을 말한다. 생태계서비스 수준이 개발 후 감소하지 않고 오히려 증가할 수 있도록 서비스 증감에 영향을 미치는 요소와 적합한 개발형태를 찾기 위해, 생태계서비

스 개념을 반영한 평가지표를 도출하고 지표값을 산정하여 이를 종합한 평가모형을 의미한다.

2) 생태계서비스의 평가지표

생태계서비스 평가는 생태계서비스에 대한 자료를 근거로 이를 조직화하고 재 해석하거나 판단을 통해 가치를 부여하는 과정으로 볼 수 있으며 생태계서비스 평가지표는 생태계서비스의 개념과 가치를 반영하여야 한다. 그러나 생태계가 가진 복잡성과 다양성으로 인해 그 가치를 통일된 방식으로 평가하기 어렵다고 생태계와 생물다양성의 경제학(TEEB)⁵⁾ 보고서는 밝히고 있다(TEEB, 2010). 즉, 생태계서비스에는 경제적 가치뿐만 아니라 사회적, 문화·심미적인 가치까지 포함(MA, 2003)하고 있으므로 생태계서비스 가치를 알기 위해서는 시간적, 공간적인 자료를 포함하여 다양한 자료들이 필요하다.

유럽에서 진행된 RUBICODE 프로젝트⁶⁾는 정책결정자에게 유용한 생태계서비스 접근법을 개발하기 위하여 재정당국과 정책당국, 과학자와 이해관계자 모두 참여하여 필요한 연구 분야를 도출하였다(Anton et al., 2010; Harrison, 2010). 우선 연구가 필요한 분야의 하나로 생태계서비스 지표 개발을 명시하고 있다. 지표개발에서 특히 어려운 부분은 특정서비스와 관련된 적합한 지표를 찾는 것이다(Hermann et al., 2011). 이용할 수 있는 자료의 한계로 인해 직접 예측하기 어려운 자료들이 혼재되어 있다면 간접적인 방법으로 지표분석을 하여 예측하고, 만약 참고자료가 없을 경우에는 전문가의 지식과 판단에 의존할 수 있다.

5) 생태계와 생물다양성의 경제학(TEEB: The Economics of Ecosystems and Biodiversity): TEEB 연구는 2007년 유엔환경계획(UNEP)과 G8국가 주도하에 이루어진 국제연구이며, 생태계서비스의 경제적 가치를 이해하고 그 가치를 계산하기 위한 경제적 톨의 제공을 목표로 하여 2단계로 구성되었다. 1단계 보고서는 2010년 제10차 생물다양성협약 당사국총회에서 생태계 가치평가와 정책에 반영하는 방향을 발표하였고 제2단계 보고서는 정책설계를 하기 위한 적절한 톨과 이러한 지식들의 활용 방향으로 진행될 예정이다.

6) RUBICODE project(Rationalising Biodiversity Conservation in Dynamic Ecosystems project): EU에서 재정을 지원한 유럽 17개 국가 전문가들이 2006년 9월부터 2009년 8월까지 참여하여 진행된 생물다양성 보전을 위한 인식제고와 정책적 기반을 제공하는 연구사업(www.rubicode.net)

세계자원연구소(World Resources Institute: WRI)는 전(全)지구적 차원에서 지역과 서비스 범주별로 지표를 구분하고 생태계서비스 지표의 데이터베이스 체계를 구축하였다(www.esindicators.org). WRI 지표는 항목별로 입력할 수 있는 틀은 제공하였으나 아직 입력된 자료 부족으로 활용하는 한계가 있다. De Groot et al.(2010)은 생물·물리적 구조와 과정에 의한 생태적 기능으로부터 생태계서비스가 제공되고, 이러한 생태적 과정과 구성요소 및 서비스 간의 상호작용을 알기 위해 기준과 지표가 필요하다고 하였다. 생태계서비스의 지속가능한 이용을 나타내는 지표로 상태지표와 성과지표를 제시하여 생태계서비스 지표 연구의 기초를 제공(표 II-5)하고 있으나 구체적이지 못하고 모호하여 실제 개발사업 단계에 적용하기에는 부적합한 요소가 많이 있다.

생태계서비스의 적용에 대한 연구는 최근 활발하게 진행되고 있지만 아직까지 생태계서비스 지표를 개발하고 적용한 연구는 거의 없는 상황이다. 단지규모 개발사업에 적용할 수 있는 지표개발 연구는 전무하여 개발이 시급하다 할 것이다.

3) 생태계서비스 평가지표의 체계

지표 체계는 지표를 작성하는 목적과 목표, 우선순위에 영향을 받는다. 환경분야 지표체계는 OECD의 PSR 구조와 EU의 DPSIR 구조로 대변된다. OECD(1991)는 환경과 인간행위 간에 관계 규명을 위해 PSR(Pressure-State-Response, 압력-상태-반응) 체계를 고안하였다. 인간활동은 오염물질 배출, 자원 고갈 등 환경에 압력(Pressure)을 가하고, 환경상태(State)와 자연자원의 스톡을 변화시키며, 사회는 이러한 변화에 반응(Response)하고 행동변화를 통하여 인간 활동으로 야기된 압력에 영향을 주게 된다. 압력-상태-반응 접근방법은 인과관계에 기초한 체계적 방식으로 환경문제 접근에 유용한 방식이다(강상목과 김명수, 2000). 이동근과 전성우(1997)는 환경적 지속가능성 지표를 중심으로 도시지속성 지표 구축에 PSR 구조를 사용하였다. 그러나 PSR 구조는 환경문제의 원인과 결과를 규명함으로써 환경, 경제와 정책이 상호 연관되어 있다는 관점에서 파악하

표 II-5. 생태계서비스의 지속가능한 이용을 위한 지표

생태계서비스 종류		생태적 과정과 기능	상태지표	성과지표
공급 서비스	식량	먹을 수 있는 식물과 동물의 존재	전체 또는 평균 저장량(kg/ha)	순생산력(kcal/ha/year)
	용수	저수지의 존재	물의 총량(m ³ /ha)	최대저장량(m ³ /ha/year)
	섬유, 연료, 다른 원료물질	생물종 존재/무생물적 구성요소	바이오매스총량(kg/ha)	순생산력(kg/ha/year)
	유전물질: 식물병원체 저장 유전자	(잠재적으로)유용한 유전물질을 가진 생물종 존재	전체 유전자은행 가치(예 생물종&아종의 수)	최대 산출량
	생화학적 생산물과 약효보유 자원	생물종 또는 무생물구성요소(유용한 화학물질/약용)	추출할 수 있는 유용한 물질의 총량(kg/ha)	최대산출량(양/면적/시간당)
	관상용 생물종과 자원	생물종의 존재 또는 관상용 무생물자원	바이오매스총량(kg/ha)	최대산출량
조절 서비스	공기 정화 조절(예, 집진능)	대기로부터 에어로졸과 화학물질을 추출하는 생태계 수용력	일면적지수, 질소고정 등	에어로졸/추출된 화학물질의 양-공기질에 영향
	기후 조절	토지피복과 생물매개과정을 통한 지역과 지구기후에 대한 생태계 영향	온실가스 조정: 토지피복 특징	온실가스양(고정 또는 추출된)
	자연재해완화	자연재해를 약화시키는 숲의 역할(예, 홍수피해로부터 보호)	물의 저장능(m ³ /당)	홍수위험 감소, 사회기반시설 손상 방지
	물 조절	물의 흡수와 배출에서 숲의 역할	토양수분보유능 또는 지표에서 수분보유능	물 보유 양과 수문학의 영향
	폐기물 처리	유기물질 제거/분해시 생물과 무생물적 과정의 역할	탈질소작용(kg N/ha/y) 식물과 토양에서의 고정	지속가능성에 기초한 재사용/고정하는 화학물질 최대양
	침식보호	토양유지에서 식생과 생물의 역할	뿌리기반 식생피복	보유한 토양의 양 또는 포획된 퇴적물
	토양형성과 재생	토양형성과 재생에서 자연적 과정의 역할	생물교란(bio-turbation)	(재)생성된 토토층의 양(ha/y)
	식물의 수분	꽃가루매개자의 양과 효율성	수분 종의 수와 영향	농작물의 자연수분 의존
	생물학적 조절	영양관계를 통한 해충개체 조절	질병조절 생물종의 수와 영향	인간질병과 가축질병의 감소 등
서식지 또는 지원 서비스	서식처	번식, 먹이 제공하는 생태계 중요성/이주종 휴식서식처	이주종과 개체(상업적 가치를 가진)의 수	다른 생태계의 의존성(또는 경쟁성)
	유전자풀 보호	생태적 균형과 진화적 과정 유지	자연 생물다양성(특히 고유 생물종); 서식지 온전성	생태적 가치(예, 실재와 잠재적 생물다양성 가치 차이)
문화 및 여가 서비스	미적 가치: 자연 풍경의 감상	경관의 심미적 질(구조적 다양성, 푸름, 평온에 기초)	인지된 경관형태의 수/면적	미적가치표현, 예: 자연지역 경계에 있는 주거 수
	휴양: 관광 또는 여가활동의 기회	매력적인 야생 경관형태	인지된 경관과 야생형태의 수/면적	사람과 실제 사용하는 물품의 최대 지속가능한 수
	문화, 예술, 디자인을 위한 영감	인간예술을 위해 경관형태나 생물종이 가지는 영감가치	영감가치를 가진 경관형태 또는 생물종의 수/면적	생태계를 사용하여 영감을 얻는 책과 그림 수
	문화유산과 고유성: 장소와 부속품	경관형태와 생물종의 문화적 중요성	문화적으로 중요한 경관형태와 생물종의 수/면적	문화유산과 고유성을 위해 숲을 이용하는 사람의 수
	영적, 종교적 영감	영적, 종교적 가치를 가진 경관 형태 또는 생물종	영적 가치를 가진 경관형태 또는 생물종의 존재	생태계를 영적·종교적으로 중요하게 여기는 사람의 수
	공식적, 비공식적 교육 훈련을 위한 교육, 과학 기회	특별한 교육형태와 과학적 가치/흥미	특별한 교육형태와 과학적 가치/흥미의 존재	수업방문의 수, 과학연구의 수

자료: De Groot et al., 2010, 재작성

고자 하였으나 환경과 인간행위의 인과관계 규명에서 복잡한 환경시스템을 과도하게 단순화시킨다는 지적이 있었다(Rounsevell et al, 2010).

유럽연합(EU)은 PSR 구조를 응용한 DPSIR(Driving force-Pressure-State-Impact-Response, 구동력-압력-상태-영향-반응) 구조를 제안하였다. DPSIR 구조는 PSR 구조의 압력과 상태를 세분화한 것이다. 압력은 환경상태를 하락시키는 직접적인 압력요인(Pressure, P)과 이를 유발하는 사회경제적 유발요인(driving force, D)으로 분리하였고, 상태는 환경상태의 현황과 변화를 나타내는 상태(state, S)와 이로 인한 생태계나 사회경제적 영향을 나타내는 영향(impact, I)으로 분리하였다. 이러한 구분은 환경현황 모니터링과 정책 목표를 구체화하는 데 도움이 되기 때문에 환경과 관련된 의사결정, 특히 환경평가에 유용한 측면이 있다(김호석 등, 2007). 그러나 DPSIR 방법은 환경문제에 적용할 때 일관성이 부족하여 변화를 평가하고 모니터링하기 위해 적절한 지표를 확인하기 어려운 단점을 가진다(Feld et al., 2010). 이동근과 윤소원(1998)은 OECD의 PSR 구조와 UNCSD의 DSR 구조를 접목한 DPSR(Driving force-Pressure-State-Response, 구동력-압력-상태-반응) 구조를 바탕으로 지속가능한 도시개발을 위한 환경지표를 제시한 바 있다. 결국 환경분야 지표들은 PSR 구조를 기본으로 하고 문제점을 보완하는 변형된 형태를 가진다고 볼 수 있다.

생태계서비스의 개념적 기초를 보여준 새천년생태계평가(MA)에서 사용한 틀(framework)은 지속가능성 지표체계에서 보는 바와 같이 변화를 일으키는 간접 요인과 직접 요인, 변화의 영향을 받는 생태계서비스, 그리고 인간복지 사이 상호작용을 보여주고 있다(그림 II-4). MA에서 제시한 틀은 생태계서비스 개념을 이해하는 데는 효과적이지만 생태계서비스 가치평가단계에 적용하기에는 효율적이지 않아 새로운 틀의 개발이 요구된다(Wallace, 2007; Balmford et al., 2008; Fisher et al., 2009). Roundsevell et al.(2010)은 DPSIR 체계를 수정하여 하나의 생태계서비스만을 고려한 단순한 개념으로 생태계서비스의 공급체계(FESP, Framework for Ecosystem Service Provision)에 대해 소개하였다(그림 II-5).

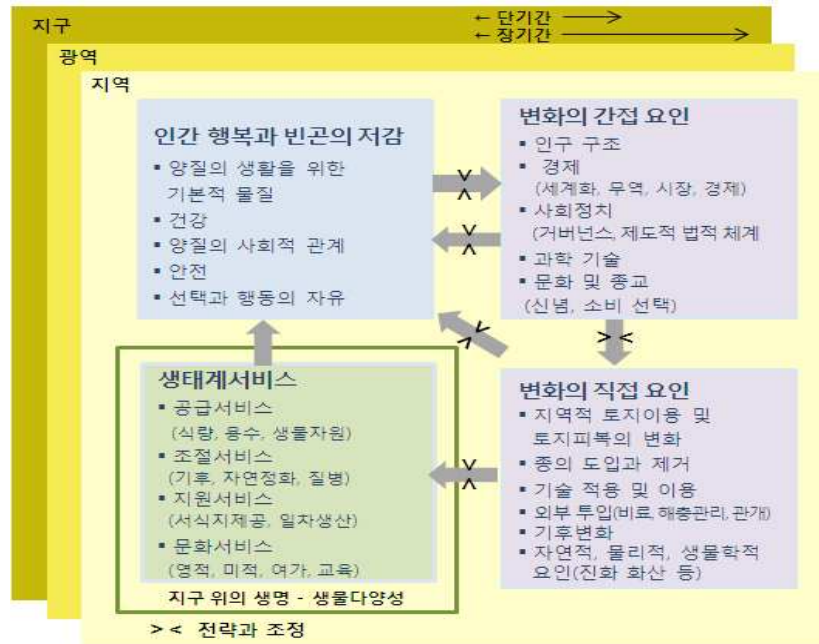


그림 II-4. 생태계서비스와 변화의 직·간접 요인(MA, 2005, 재수정)

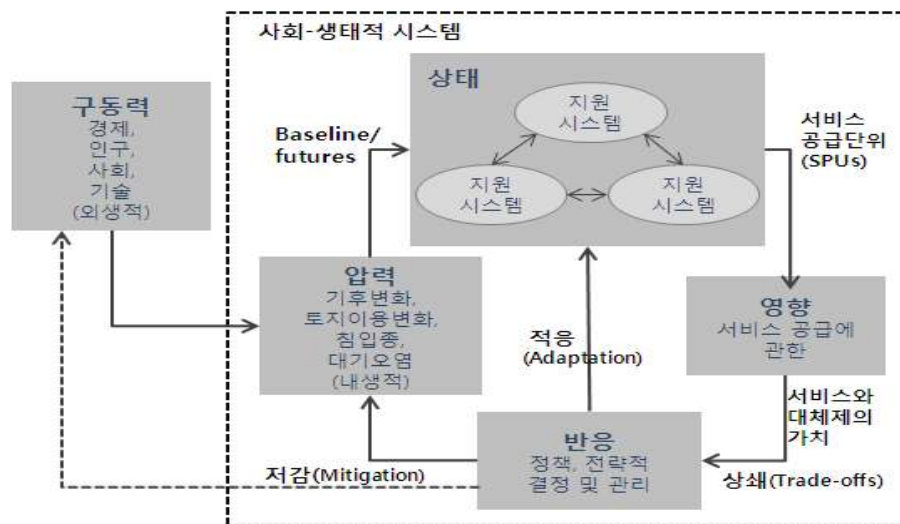


그림 II-5. 생태계서비스 공급을 위한 구조(수정된 DPSIR구조에 기반)
(Rounsevell et al., 2010, 재수정)

여기서 구동력(Drivers)은 기후, 사회-경제적 변화, 국가정책과 같은 환경변화의 근본원인으로 MA의 간접 요인(indirect driver)에 해당한다. 압력(Pressure)은 생태계와 서비스 변화에 직접적으로 영향을 주는 물리적, 생물학적 또는 화학적 과정(Nelson et al., 2005)이다. 압력은 시스템 또는 지역의 구동력 효과를 수량화하는 변수로 MA의 직접 요인(direct driver)에 해당한다. 상태(State)는 압력 변수에 대한 시스템의 민감도로 생태계서비스의 공급자와 수혜자를 말한다. 영향(Impact)은 상태변수가 부정적이거나 긍정적인 효과를 가지는지 측정한다. 반응(Response)은 사회-경제적 압력변수에 작용하여 부정적인 영향을 최소화하는 정책과 관리를 말한다. 그러나 실제 상황에서는 복합서비스와 복합시스템이 충돌(conflict)과 상쇄(trade-off) 과정으로 복잡하게 얽혀 발생하므로 단순한 서비스 공급체계를 적용하기에는 한계가 있음을 보여주고 있다.

Landsberg et al.(2011)는 새천년생태계평가(MA) 개념 체계에 기초하여 개발사업의 환경영향평가에서 대기, 물, 동·식물상 등의 생물학적 요소와 인구, 건강, 문화 등의 사회경제적 요소를 분리하여 평가하고 있지만, 생태계서비스 개념을 적용한 통합평가가 필요하며 개발사업에서 생태계서비스의 영향을 평가하는 개념적 체계를 소개하고 있다(그림 II-6).

여기서 생태계의 변화를 일으키는 간접 요인과 직접 요인, 생태계와 생태계서비스, 그리고 생태계서비스 수혜자의 복지와 개발사업 성과가 밀접히 연관되어 있고, 개발사업의 성과에는 생태계서비스에 대한 평가가 포함되어야 한다고 하였다. 아울러 환경영향평가 단계에서 고려할 생태계서비스에 대한 사항을 제안하였다. 스코핑 단계에서 생태계서비스 자체를 확인하고, 영향분석단계에서 생태계서비스 수혜자에게 끼치는 부정적인 영향을 확인하며, 저감단계에서 생태계서비스 수혜자에게 서비스의 증가 또는 최소한 유지를 할 수 있는 대안이 필요하다고 보았다. 그러나 생태계서비스 평가에 관한 구체적인 방법론에 대해서는 제시하고 있지 않아 실제 개발사업에 적용하기 위해서는 더 많은 연구가 필요한 실정이다.

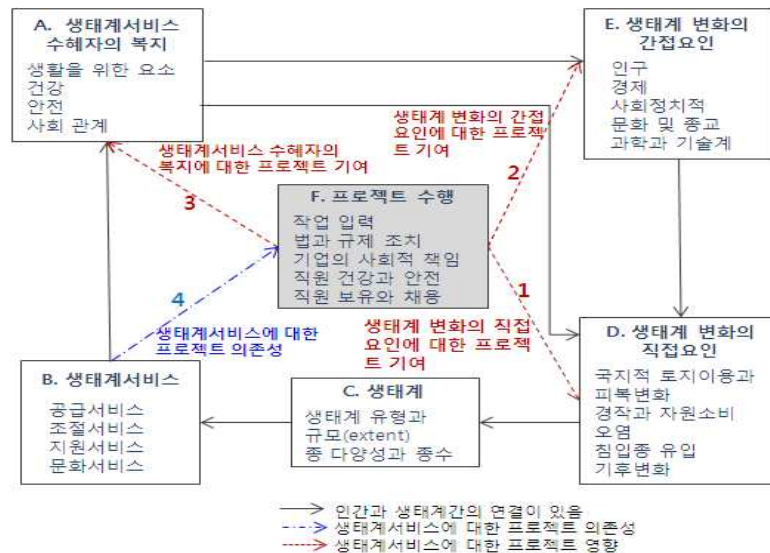


그림 II-6. 개발사업의 생태계서비스 영향평가에 대한 개념적 체계도

(MA, 2003; Landsberg et al., 2011, 재수정)

4) 생태계서비스의 공간적 평가

생태계는 생태계 구조와 생태적 기능으로부터 인간에게 서비스를 제공한다. 개발행위는 생태계 구조와 기능 변화를 유발하기 때문에 이로 인해 서비스 수준이 변화한다. 그러나 이러한 변화를 평가할 수 있는 실증자료가 부족하며 평가방법도 아직 제대로 마련되어 있지 않다. 이 부분은 향후 해결되어야 할 과제중의 하나이다(De Groot et al., 2010). 이에 따라 생태계서비스의 정량적 평가를 통해 실질적인 생태계서비스 평가 틀을 만드는 작업은 그 해결방안으로써 의미가 있다 할 것이다.

개발사업은 토지피복과 토지이용변화를 유발하여 그 지역 생태계 구조와 기능을 변화시키고 여기서 제공되는 생태계서비스도 변화하게 된다. 이 점에 착안하여 본 연구는 생태계서비스 정량화가 어려운 지표들, 특히 문화서비스 평가지표의 산정 방법으로 경관생태학적 원리를 적용한 공간적 평가를 시도하였다.

경관생태학은 생물군집과 환경조건 사이에서 전체적이고 복합적인 원인과 결과의 연결망을 연구하고(Troll, 1968) 생태계의 공간적 분포 패턴에 관계되는 현상을 밝혀낸다. 인간과 지역환경의 관계를 생태학적 관점에서 분석·종합·평가하고 인간에게 바람직한 지역환경의 보전·창출하는 방법을 연구한다(이동근 등, 2004). 경관생태학은 경관의 세 가지 측면인 구조, 기능, 변화에 초점을 둔다. 구조는 구별되는 생태계나 거기에 존재하는 요소 즉, 에너지, 물질, 종(크기, 형태, 수, 종류)의 분포나 생태계 사이의 공간적 관계이다. 기능은 공간요소의 상호관계 즉, 구성하고 있는 생태계 내 에너지, 물질, 종의 이동이다. 변화란 모자이크 구조 및 기능의 시간적인 치환을 의미한다(Forman and Gordron, 1986). 이러한 경관생태학의 구조, 기능과 변화에 대한 기본 원리는 개발사업의 환경영향평가에 유용하게 활용할 수 있다(이동근 등, 2005).

경관구조는 생물이나 특정 물질 등 공간을 특징짓는 대상물의 분포패턴과 그 배경이 되는 구조적 요인이며(이동근 등, 2005) 이질적인 공간요소들이 만드는 유형을 말한다. 경관의 기본 단위는 경관요소이며 이것은 패치(patch), 코리더(corridor), 매트릭스(matrix)로 나눌 수 있다(이도원, 2001). 경관구조의 변화는 생물서식공간을 고립 또는 파편화시키고 자연생태계의 물질순환과 에너지흐름을 파괴할 뿐만 아니라 경제적 가치를 줄이고 심지어 인간의 건강을 위협하고 있다(Turner, 1989; Rapport et al., 1998; Li et al., 2001; Matsushita et al., 2006; 허성구 등, 2006; 이동근 등, 2007). 경관이 파편화되면 패치 규모가 감소하고 패치형태가 변화되며 패치 간의 격리화를 가져 온다(안동만·김명수, 2003). 경관의 이질성이 변화되면 경관을 구성하는 요소의 크기나 형태, 배치, 공간 내 다양한 형태의 생태계 특성 변화에 영향을 미친다(Forman, 1995; 홍선기 등, 2000). 즉, 경관생태학적 요소의 질은 패치의 크기(면적), 연결성, 고립성, 형태 등과 같은 경관생태적 특성항목들에 의해 좌우되어(안동만과 김명수, 2003; 이동근 등, 2005), 경관생태적 요소의 질에 대한 평가에 경관생태적 특성항목들이 주로 사용된다(Lee et al., 2001; Cook, 2002; Peterseil et al., 2004).

경관요소로서 패치크기 또는 패치면적은 경관생태학에서 오픈스페이스 개념으

로 수목과 초본 등으로 피복된 토지 혹은 그 잠재력을 구비한 토지(이동근과 윤소원, 1998)를 말한다. 자연환경의 양적인 측면을 대표적으로 나타낸다. 패치 크기가 클수록 일반적으로 패치내 서식하는 종의 수는 많아진다(Kohn and Walsh, 1994; Lomoline and Weiser, 2001; Triantis et al., 2003). 또한 패치크기는 도서생물지리학 등의 보전생물학에서 제시하는 종-면적과의 관계를 설명해 준다. 도서생물학이론은 종구성에서 파편화된 서식처 크기와 고립의 영향을 중요하게 본다. 패치크기와 연결된 서식처로부터 거리를 고려하여 종다양성에 미치는 영향을 설명한다(이동근 등, 2005). 메타개체군 역동성이론은 공간적으로 분배된 개체수 간의 연결성과 교환을 중요하게 보고 종의 지속성 예측에 적용한다(Collinge, 1996).

연결성은 경관과 지역 안에서 동물이나 물질의 흐름을 이해하는 데 중요한 개념이다. 일반적으로 연결성이 높으면 통로역할로서 긍정적 기능이 증대된다(이동근 등, 2005). 이러한 연결성 측정은 거리에 기반을 둔 최인접 패치 직선거리(Euclidean nearest neighbor distance, ENN)와 근접성 지수(proximity index, PROX) 방법이 많이 활용(Gustafson and Parker, 1992)되고 있다(송원경 등, 2012). 연결성은 패치 고립도(patch isolation) 등의 용어로 사용하기도 한다(Whitomb et al., 1981; Turner, 1989; Gustafson and Gardner, 1996).

고립도는 인근 패치와 고립 정도를 의미하며 어떤 패치 상호간의 거리가 떨어져 있을수록 패치 고립은 증대되고 생태적 질은 낮아지게 된다. 이러한 맥락에서 고립도는 녹지패치의 경관생태적 질을 결정짓는 중요한 변수이다(류연수 등, 2007). 녹지의 고립도 산정방식은 인접해 있는 주요 녹지상호간의 거리를 측정하여 비교(Forman and Godron, 1986) 할 수 있다. 먼저 인접해 있는 녹지와 고립도를 측정하고 그 다음 인접해 있는 일정규모 이상 녹지와 고립도를 측정하여 평가한다. 고립도의 가치평가기준은 고립도 측정값이 클수록 고립성은 높고 생태적 가치는 낮아진다는 사실에 근거하고 있다.

패치형태는 가장자리 효과에 의해 패치내부로 침투하는 넓이에 영향을 주며 주변 매트릭스와 상호작용을 파악하는 데 중요한 지표이다(Collinge, 1996). 주로

경관 매트릭스를 이용하여 형태를 분석한다.

이상과 같이 경관생태적 특성항목을 사용하여 환경영향평가 대상 개발사업에서 대상지내 공간계획의 경관생태적 질에 대한 평가를 할 수 있으며 경관 구조와 기능을 고려한 학문적 기반으로 경관생태학을 적용할 수 있다. 특히, 본 연구에서 제시하고자 하는 생태계서비스 평가를 함에 있어 경관 구조를 사업대상지에 적용하면, 매트릭스는 대상지 전체인 바탕이 되고, 패치는 생태계서비스를 제공하는 생태공간으로 생태계서비스 평가의 중심이 된다. 또한 대상지 내에서 생태공간은 인간이 생태계를 인식하고 이용하는 공간이라 볼 수 있고 인간에게 비물질적인 편익을 제공하는 문화서비스와 다른 서비스를 지원하는 지원서비스를 평가하기 위한 이론적 기틀을 제공할 수 있다고 판단된다.

4. 국내 환경영향평가제도

1) 택지개발사업과 보금자리주택사업

본 연구의 사례대상은 택지개발사업으로 하였다. 우리나라는 1960년 이후 경제발전과 산업화가 이루어지면서 농촌에서 도시중심사회로 급격하게 변모해 왔다. 수도권을 중심으로 한 도시 인구집중과 이에 따른 토지의 고도이용으로 인해 단독주택 위주이던 도시들은 택지 건립이 지속되면서 아파트 위주의 도시로 변모하여 왔다. 1980년 말 전체주택의 5%에 불과하던 아파트가 표 II-6과 같이 2010년에는 47.1%를 차지하여 단독주택을 추월하면서 우리나라의 대표적인 주거형태로 자리잡게 되었다(통계청, 2011).

택지개발은 「택지개발촉진법」에 따라 도시지역의 시급한 주택난을 해소하기 위하여 주택건설에 필요한 택지의 취득, 개발, 공급 및 관리 등에 관하여 특례를 규정함으로써 국민주거생활의 안정과 복지향상에 기여함을 목적으로 한다. 여기서 택지란 개발, 공급되는 주택건설용지 및 공공시설용지를 말하고, 택지개발사업이

표 II-6. 가구의 거주유형(1980-2010)

(단위: 천가구, %)

구분	1980년	1985년	1990년	1995년	2000년	2005년	2010년
일반가구	7,969 (100.0)	9,571 (100.0)	11,355 (100.0)	12,958 (100.0)	14,312 (100.0)	15,887 (100.0)	17,339 (100.0)
단독주택	7,107 (89.2)	7,838 (81.9)	8,506 (74.9)	7,716 (59.5)	7,103 (49.6)	7,064 (44.5)	6,860 (39.6)
아파트	391 (4.9)	863 (9.0)	1,678 (14.8)	3,478 (26.8)	5,238 (36.6)	6,629 (41.7)	8,169 (47.1)
연립/다세대	205 (2.6)	442 (4.6)	729 (6.4)	1,139 (8.8)	1,294 (9.0)	1,695 (10.7)	1,744 (10.1)
비거주용 건물내 주택	224 (2.8)	393 (4.1)	388 (3.4)	576 (4.4)	593 (4.1)	282 (1.8)	212 (1.2)
주택이외 거주	43 (0.5)	36 (0.4)	54 (0.5)	49 (0.4)	84 (0.6)	217 (1.4)	354 (2.0)

자료: 2010 센서스 인구주택총조사 (통계청, 2011)

란 일단의 토지를 활용하여 주택건설 및 주거생활이 가능한 택지를 조성하는 사업을 말한다. 우리나라의 택지개발사업은 민간참여 활성화를 위해 시행된 「도시개발법」에 의한 도시개발사업, 공공의 택지개발을 시행할 수 있는 「택지개발촉진법」에 의한 택지개발사업, 「보금자리주택건설 등에 관한 특별법」에 의한 보금자리주택사업 등이 있다. 택지개발은 2006년 말까지 도시개발사업 등 타 개발사업과 비교시 97.6%에 해당하는 주택공급의 절대적 위치를 차지하고 있다(표 II-7).

표 II-7. 주요 개발사업의 실적비교(2006년까지 누계)

총계	택지개발	도시개발	도시재개발	주택재개발
716,153천m ²	699,282천m ²	617m ²	870m ²	15,384천m ²
100%	97.6%	0.1%	0.1%	2.1%

자료: 국토해양부, 2007, 통계연보

도시민의 삶과 밀접한 택지개발사업 시행은 환경 훼손을 동반하게 되므로 개발행위와 자연환경의 조화가 요구되어 본 연구의 생태계서비스 평가가 필요한 지역이라 할 수 있다. 택지개발사업은 택지개발지구지정과 실시계획을 수립하는 계획단계와 실시계획을 승인하고 공사를 시행하는 단계로 추진된다(그림 II-7).

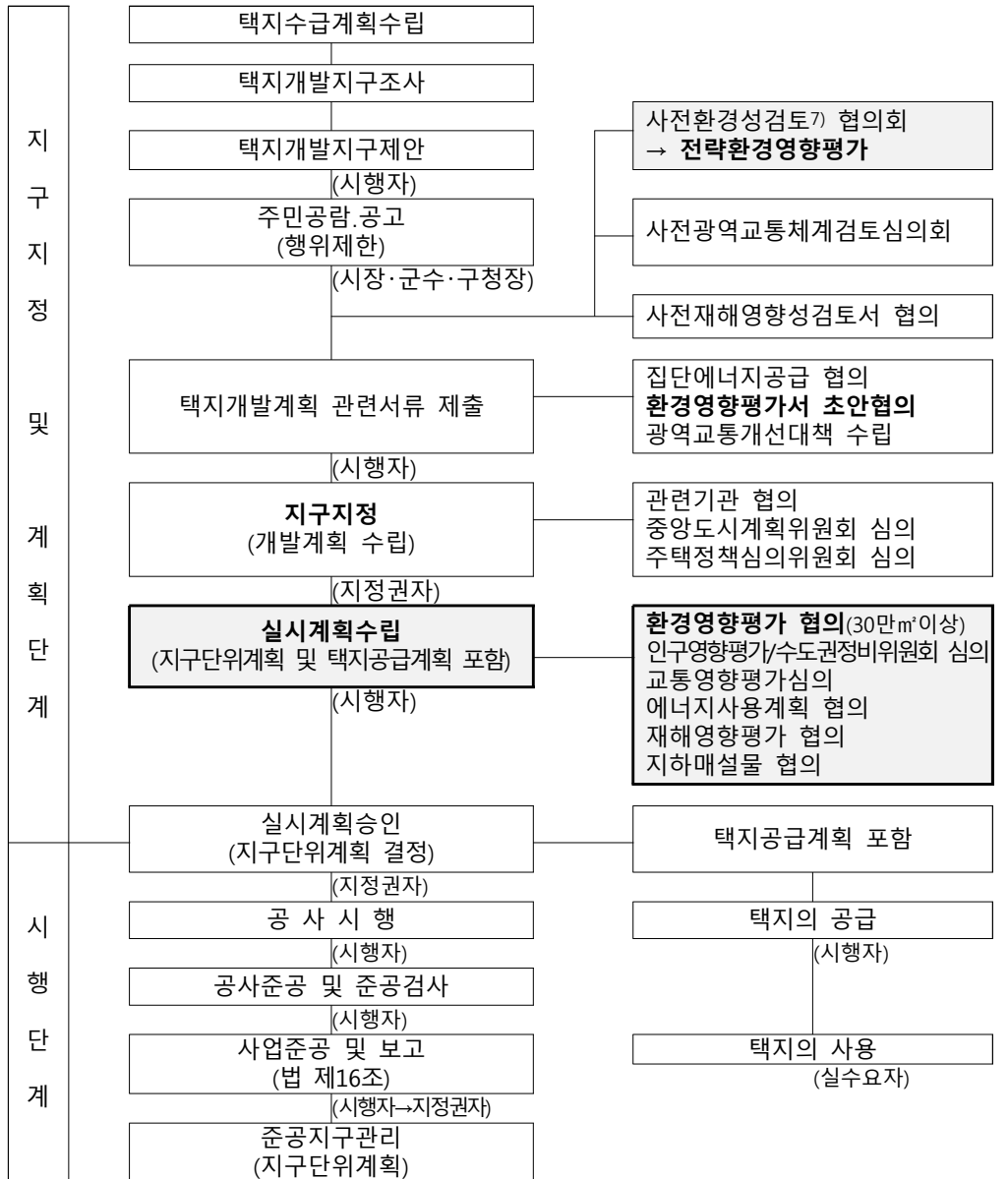


그림 Ⅱ-7. 택지개발사업 추진절차

(국토해양부, 2011, 주택업무편람)

7) 사전환경성검토는 2012년 7월 22일부터 개발사업의 상위행정계획에 대한 지속가능성을 검토하기 위해 전략환경영향평가로 개편되었다. (환경부 보도자료, 2012.7.19.).

환경영향평가는 택지개발계획을 수립하면 기본설계단계에서 진행되고 환경영향평가에서 제시된 사항을 실시계획에 반영하는 절차로 진행된다.

보금자리주택사업은 무주택 서민과 저소득층의 주거문제를 해결하기 위해 공공분양 및 임대주택을 수요자 맞춤형 ‘보금자리주택’으로 통합하고, 향후 10년간 총 150만호(연평균 15만호)를 공급할 계획에 있는 사업이다(국토해양부, 2008). 국민에게 저렴한 주택과 택지공급을 목적으로 하기 때문에 주거지역이 적고 농경지가 대부분인 개발제한구역 내에 입지하는 특징이 있다(황상일과 박선환, 2011). 개발제한구역은 「개발제한구역의 지정 및 관리에 관한 특별조치법」 제3조에 따라 도시의 무질서한 확산을 방지하고 도시 주변의 자연환경을 보전하여 도시민의 건전한 생활환경을 확보하기 위해 도시의 개발을 제한한 필요가 있다고 인정되어 지정된 지역을 말한다. 특히 자연환경에 대한 고려가 필요한 지역이라 할 것이다.

2) 환경영향평가제도

현재 국내에서 개발사업이 환경에 미치는 영향을 사전에 평가하기 위한 수단으로 「환경영향평가법」에 따라 전략환경영향평가, 환경영향평가, 소규모 환경영향평가제도가 시행되고 있다.

동법 제2조에 의하면 전략환경영향평가는 환경에 영향을 미치는 상위계획을 수립할 때에 환경보전계획과의 부합여부 확인 및 대안의 설정·분석 등을 통하여 환경적 측면에서 해당 계획의 적정성 및 입지의 타당성 등을 검토하도록 되어 있다. 평가대상은 정책계획과 개발기본계획이 해당하며 지속가능한 발전을 이루는 체계적인 의사결정 지원수단이다(최희선 등, 2011). 종전 「환경정책기본법」에서 운용하였던 사전환경성검토는 2012년 7월 22일부터 「환경영향평가법」으로 통합되어 정책계획과 개발기본계획은 전략환경영향평가로, 보전지역개발사업에 대해서는 소규모 환경영향평가로 개편되었다(그림 II-8).

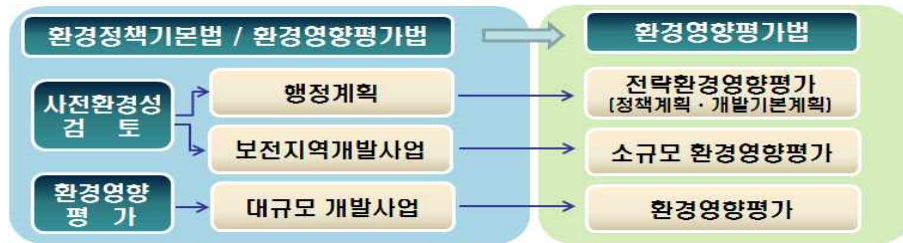


그림 Ⅱ-8. 환경영향평가제도의 정비(환경부, 2012)

「환경영향평가법 시행령」 제7조 제2항에 따라 전략환경영향평가 대상 개발기본계획에는 「택지개발촉진법」 제3조 및 제8조에 따른 택지개발지구의 지정 및 택지개발계획이 해당한다. 「환경영향평가법 시행령」 제2조 제1항에 따라 개발기본계획에 대한 평가는 계획의 적정성과 입지의 타당성에 대하여 실시한다. 계획의 적정성은 상위계획 및 관련계획과의 연계성, 대안설정·분석의 적정성에 대한 평가를 하고, 입지타당성은 자연환경의 보전, 생활환경의 안정성, 그리고 사회·경제환경과의 조화성으로 환경친화적인 토지이용에 대하여 평가한다. 해당지역 및 주변지역의 입지여건, 토지이용 현황 및 환경특성을 고려하여 환경영향평가협의회의 심의를 거쳐 평가항목과 범위 등을 결정하도록 하고 있다. 아직 제도시행 초기단계이고 구체적인 내용 등에 대해서는 제시하고 있지 않아 미흡한 실정이다.

환경영향평가는 「환경영향평가법」 제2조에 의하면 환경에 영향을 미치는 실시계획·시행계획 등의 승인 등을 할 때에 해당 사업이 환경에 미치는 영향을 미리 조사·예측·평가하여 해로운 환경영향을 피하거나 제거 또는 감소시킬 수 있는 방안을 마련하는 것을 말한다. 주거환경과 관련한 환경영향평가 대상사업은 동법 제22조에 따라 일정규모 이상의 도시정비사업, 주택건설사업, 택지개발사업, 보금자리주택지구조성사업 등이 해당한다(표 Ⅱ-8). 환경영향평가 대상지역은 동법 제6조에 따라 환경영향평가 대상사업의 시행에 따라 환경영향을 받게 되는 지역으로서 환경영향을 과학적으로 예측·분석한 자료에 따라 그 범위가 설정된 지역에 대하여 실시하고 있다.

표 II-8. 환경영향평가 대상 도시개발사업의 종류와 범위(주거환경 관련)

도시개발사업의 종류	근거법	도시개발사업의 범위
도시개발사업	도시개발법	사업면적 25만제곱미터 이상
도시정비사업 (주거환경개선사업 제외)	도시 및 주거환경정비법	사업면적 30만제곱미터 이상
주택건설사업 또는 대지조성사업	주택법	사업면적 30만제곱미터 이상
택지개발사업 또는 보금자리주택지구 조성사업	택지개발촉진법 또는 보금자리주택건설 등에 관한 특별법	사업면적 30만제곱미터 이상
생활환경정비사업 중 마을정비구역의 조성사업	농어촌정비법	사업면적 20만제곱미터 이상

자료: 「환경영향평가법 시행령」 제31조제2항과 별표 3에서 일부 발췌 정리
(법제처: <http://www.law.go.kr/>)

환경영향평가에서 평가항목은 대상사업의 시행으로 영향을 받게 될 환경분야에 대해 실시한다. 「환경영향평가법」 제24조에서 환경영향평가협의회 심의와 사계절 특성을 고려하여 결정하도록 하고 있다. 대기환경, 수환경, 토지환경, 자연환경, 생활환경, 사회·경제환경분야의 6개 분야에 걸쳐 21개 항목으로 세분하고 있다. 우리나라는 평가항목을 미리 법으로 정하여 운용하고 있다. 대상사업의 특성과 대상사업이 입지하는 조건의 특성을 고려하지 않고 사업의 종류에 관계없이 평가항목 전부를 일률적으로 평가하여 평가서 분량은 많은 반면 내용이 부실해지는 경향이 많다(환경부, 2007). 이에 2001년 1월 대상사업의 특성과 입지여건 등을 고려하여 대상사업별로 중점적으로 평가해야 할 항목을 설정하는 중점평가항목을 도입하였다. 2004년 7월에는 사업자가 환경영향평가서를 작성할 때 선택과 집중 차원에서 꼭 평가해야 할 항목과 범위를 미리 정하는 절차인 스코핑(Scoping) 제도를 최초로 도입한 이후, 2009년 1월에 전면적으로 도입하였다. 택지개발사업을 포함하는 도시개발사업의 경우, 주요 평가항목에는 토지환경분야의 지형·지질과 토지이용, 자연생태환경분야의 동·식물상과 자연환경자산, 대기환경분야의 대기질, 수환경분야의 수질, 생활환경분야의 친환경적 자원순환, 소음·진동, 일조장애 등이 있다(환경부, 2011b).

우리나라 환경영향평가제도는 1977년에 도입된 이래 많은 발전이 있었으나 운영상에서 평가기준, 평가항목의 선정방식과 중점평가의 문제 등 다양한 측면에서 문제를 도출하였다. 평가기준에서는 데이터의 수치화와 판단기준의 객관화가 어려운 분야가 많다는 점이다. 사업 전의 환경이 사업으로 인해 어느 정도 악화되었는지 사업시행 전과 후의 종합적·정량적인 비교가 어려우며 개발 영향에 대한 객관적인 분석이 어렵고 환경가치의 객관화와 계량화가 곤란하다. 이것은 특히 자연환경분야에서 두드러지는 특징이다(조공장 등, 2008). 자연환경분야는 타 항목의 공학적인 분석에 비해 다소 주관적이거나 조사시기의 부적절성, 개별 생물군의 서식여건, 생태적 특성 등이 다양하여 조사결과의 신뢰성이 논란의 중심에 있었다. 환경영향평가 업무의 전반에 걸쳐 불신을 초래하고 사회적으로도 많은 갈등을 가져온 사건들도 쉽게 찾아볼 수 있으며 지금까지도 여전히 남아 있다(신경희 등, 2010). 평가항목에서는 개발사업의 입지조건 및 개발사업(사업종류)의 특성이 반영되지 않은 획일적 평가를 하고, 중점평가항목을 설정하고 있지만 정해진 평가항목으로 인한 불필요한 조사를 수행하고 있으며, 실제 조사이후 평가와 예측단계로 연결되지 않고 평가항목과 평가체계가 매우 미흡하다(조공장 등, 2008).

이에 대해 환경영향평가기법 개발연구의 중요성과 지역 및 사업의 특성이 반영된 평가의 수행이 필요하다(김은영, 2010). 국제적으로도 아직까지 생물다양성 및 생태계와 관련한 환경영향평가기법 등에 대한 구체적인 논의와 가이드라인 마련이 미흡한 실정(정연만, 2010)에 있으며 외국과 달리 규제중심의 국내 실정에 적합한 생태계 평가가 적용될 수 있는 환경영향평가 내용과 기법이 마련되어야 한다.

평가항목에 있어서 자연생태환경분야는 「환경영향평가서 작성규정(환경부고시 제2012-112(2012.6.28)호)」에 따라 동·식물상 항목에서 생태계현황과 연계된 사항이 평가되고 있다. 여기서 다루는 내용은 생물종 및 식생현황의 기술과 보호종의 존재 유무에 평가가 집중되어 있고 생물의 서식지 현황이나 생태계에 대한 현황조사, 영향예측 그리고 대책에 대한 이슈들은 구체적이지 못하다(구미현과 이동

근, 2012a). 더군다나, 법적으로 보호받는 생물종들과 보호지역에 집중된 평가를 한다고 하여 개발지역 자연환경의 질이 유지되거나 좋아지는 것은 아니다. 왜냐 하면, 개발사업으로 인해 피해를 보는 자연은 법정보호지역이 아니라 개발지역을 포함하는 주변의 자연생태계이기 때문이다(최영국, 2007). 그러므로 개발사업에 따른 자연환경분야의 영향을 저감하기 위한 환경영향평가에서는 생물종에서부터 생태계에 이르기까지 다양한 측면이 고려되어야 하고 생물종 중심에서 생태계의 구조와 기능이 유지되는 방향으로 평가의 전환(Latimer, 2009)이 요구된다고 하겠다.

아울러 「환경영향평가법」 제1조에서는 환경영향평가제도의 목적에 대해 ‘환경에 영향을 미치는 사업을 수립·시행할 때에 해당 사업이 환경에 미치는 영향을 미리 예측·평가하고 환경보전방안 등을 마련하도록 하여 친환경적이고 지속가능한 발전과 건강하고 쾌적한 국민생활을 도모’하기 위함이라고 밝히고 있다. 그러므로 지속가능한 발전과 인간의 삶의 질에 대한 부분도 환경영향평가 과정에 포함하는 것이 동법의 제정 취지에 부합한다고 본다.

Ⅲ. 택지개발사업에서 생태계서비스 평가모형 개발

1. 택지개발사업에서의 생태계서비스 평가방향 설정

1) 생태계서비스의 개념을 고려한 평가

택지개발사업이 생태계서비스에 미치는 영향을 평가하기 위하여 생태계서비스의 개념을 바탕으로 평가요소를 도출하였다. 생태계서비스가 생태계 구조와 기능으로부터 인간에게 제공하는 혜택을 의미하는 것이므로 생태계서비스 평가는 이러한 생태계 구조와 기능을 측정할 수 있고 인간의 삶의 질과 관련있는 요소를 평가지표로 도출하는 것이 필요하다. 이를 위해서는 생태계서비스를 유형화하고 측정할 수 있는 항목으로 분류하여야 한다. 따라서 현재 가장 많이 인용되고 있는 새천년생태계평가(MA, 2005)의 생태계서비스 분류체계인 공급서비스, 조절서비스, 지원서비스, 그리고 문화서비스의 유형을 기본 골격으로 하였으며 이들 4개 서비스를 종합하여 분석하였다.

2) 환경영향평가와 비교를 통한 생태계서비스의 평가

환경영향평가는 개발사업에 따른 환경문제를 최소화하기 위한 제도이다. 개발계획이 평가의 대상인데, 환경에 미치는 영향을 평가한다. 생태계서비스 평가는 개발사업이 생태계서비스에 미치는 영향을 사전에 예측·평가하여 그 증감에 대한 대응방안을 수립하기 위한 것이므로 환경영향평가와 같이 개발계획 수립단계에서 평가하는 것이 바람직하다. 환경영향평가와 생태계서비스 평가는 개발계획단계에서 평가가 진행될 수 있도록 두 평가를 비교하고 차이나는 부분을 밝히는 것이 필요하다. 「환경영향평가법」에서 규정하고 있는 환경영향평가 대상항목과 새천년생태계평가(MA, 2005)에서 제시한 생태계서비스 종류를 비교하였다(표 III-1).

표 III-1. 환경영향평가 항목과 생태계서비스 종류

환경영향평가 항목*		생태계서비스 종류**	
자연생태환경분야	동·식물상	공급서비스	생물종과 자원, 유전물질
	자연환경자산	문화서비스	문화유산과 고유성
대기환경분야	기상	조절서비스	기후조절
	대기질	조절서비스	공기정화조절
	악취	조절서비스	공기정화조절
	온실가스	조절서비스	기후조절
수환경분야	수질(지표·지하)	조절서비스	물조절
	수리·수문	공급서비스	담수
	해양환경	조절서비스	자연재난완화, 침식보호
토지환경분야	토지이용	지원서비스	서식처
	토양	조절서비스	토양형성과 재생
	지형·지질	지원서비스	서식처
생활환경분야	친환경적 자원순환	조절서비스	폐기물처리
	소음·진동	-	-
	위락·경관	문화서비스	휴양, 영감, 미적가치
	위생·공중보건	조절서비스	생물학적 조절
	전파장해	-	-
	일조장해	-	-
사회·경제환경분야	인구	-	생태계서비스의 간접 요인으로 인간복지와 연관
	주거	-	
	산업	-	

* 환경영향평가법 시행령 [별표1] 환경영향평가 등 분야별 세부평가항목

** 새천년생태계평가(MA, 2005)에서 제시한 생태계서비스 종류

자연생태환경분야, 대기환경분야 등 환경영향평가의 6개 항목은 대부분 생태계서비스 종류와 연결 지을 수 있었다. 다만 사회·경제환경분야의 인구, 주거, 산업 항목은 생태계서비스 자체가 아니라 생태계 변화를 일으키는 요소로써 새천년생태계평가(MA)에서 언급하는 간접 요인(indirect driving force)에 해당하여 비교 검토에서 제외하였다.

환경영향평가와 연계된 생태계서비스를 기준으로 환경영향평가 항목을 재배치하고 비교하였다. 생태계서비스 종류 가운데 공급서비스의 식량, 조절서비스의 식물의 수분, 지원서비스의 유전자 풀 보호, 문화서비스의 교육과 훈련을 위한 기회는 환경영향평가 항목과 대응되지 않았다. 이들 항목들은 생태계서비스 개념을

바탕으로 생태계서비스 평가요소를 도출하였다. 그 외 항목들은 「환경영향평가서 작성 등에 관한 규정(환경부고시 제2012-112(2012.6.28.)호)」에 따라 환경영향평가 대상항목별 평가내용과 생태계서비스에 대한 선행연구들을 비교하여 평가요소를 도출하였다. 현행 환경영향평가에서 평가하는 내용들이 생태계서비스 평가에서 다를 수 있는 부분과 다루기 어려워 차이나는 부분을 중심으로 분석하였다. 이를 통해 생태계서비스 평가에서 고려가 필요한 사항들을 도출하였다(표 Ⅲ-2).

표 Ⅲ-2. 생태계서비스 평가와 환경영향평가의 주안점과 평가요소

분류	항목	생태계서비스 평가 주안점 및 평가요소*	환경영향평가 주안점 및 평가요소**	생태계서비스 평가시 고려사항
공급	담수	· 저수지 등 물 공급원의 존재 · 물의 총량, 최대물저장량	· 대상수역의 유형 변화, 우수 유출량 변화, 홍수위 변화를 예측, 수리·수문 변화 최소화	· 담수 공급 측면에서 수원함양
	생물종과 자원	· 생물종과 무생물자원의 존재, 구성요소 · 바이오매스총량, 최대산출량, 순생산력	· 동식물과 생태계의 분류군별 현황, 보호가치가 있는 주요 종이나 개체, 생태계의 자연성 조사, 동식물과 생태계에 대한 영향 저감	· 식물생산력
	유전물질	· 유용한 유전물질을 가진 생물종의 존재 · 총 '유전자은행' 가치(생물종 & 아종의 수), 최대산출량	· 분류군별 생물종 종류 및 개체수 · 멸종위기종, 보호수 등 보호 가치가 있는 종의 종류 및 개체수	· 종다양도, 종풍부도
	생화학적 산물	· 화학물질, 약용을 가진 생물종의 존재와 무생물 구성요소 · 유용한 물질(추출가능)의 총량		· 종다양도, 종풍부도
조절	기후조절	· 토지피복과 생물매개 과정을 통한 지역기후에 대한 생태계의 영향 · 온실가스 조정: 토지피복 특징, (고정 또는 추출된) 온실가스양 → 기후변수에 대한 영향	· 지형변화, 토지이용변화 등으로 인한 국지기상과 기상 변화정도 예측, 기상변화가 크게 예상되면 저감방안 마련 · 기온, 풍향·풍속, 습도, 강수량, 대기안정도	· 토지피복도, 기후변화에 안정한 생태계
	공기정화 조절	· 대기로부터 에어로졸과 화학물질을 추출하는 생태계의 수용력 · 임면적지수, 질소고정, 에어로졸 또는 추출된 화학물질의 양	· 대기질 영향 최소화, 대기오염물질 현황, 환경기준/목표기준과 비교	· 대기정화수
	물조절	· 물의 흡수와 배출에서 숲의 역할 · 토양 수분 보유능 또는 지표에서 수분보유능, 물보유량과 수문학의 영향	· 수역의 수질에 미치는 영향 예측 및 저감 · 하천·호소·지하수 수질 및 이용현황, 오염원 및 처리시설 현황, 총량관리 현황	· 지하수 함량, 토양과 지표에서 수분 보유정도

표 III-2. 계속

분류	항목	생태계서비스 평가 주안점 및 평가요소*	환경영향평가 주안점 및 평가요소**	생태계서비스 평가지 고려사항
조절	자연재난 완화	· 자연재해를 약화시키는 숲의 역할 · 물의 저장능, 홍수위험감소, 사회 기반시설 손상방지(홍수피해 보호)	· 해양환경에 미치는 영향 예측 및 저감 · 해양 동식물상, 해양수질, 해양지질, 해양물리, 수자원이용현황	· 재해 빈도와 숲의 재해 완화 정도
	침식보호	· 토양유지에서 식생과 생물의 역할 · 뿌리기반 식생피복, 보유한 토양 의 양 또는 포획된 퇴적물		· 식물을 지탱 하는 토양의 기능
	토양형성과 재생	· 토양형성과 재생에서 자연적 과정의 역할 · 생물교란, (재)생성된 표토층의 양	· 토양오염 개연성, 배경 현황 및 오염현황 조사 예측 및 토양환경 영향 최소화	· 토양 형성과 재생 능력
	폐기물 처리	· 유기물질의 제거 또는 분해에서 생물과 무생물적 과정의 역할 · 탈질소작용(식물과 토양에서 고정), 재사용/고정하는 화학물질의 최대 양	· 발생폐기물의 종류, 발생량, 처리방법, 처리시설 현황, 처리영향 및 폐기물 처리계획 수립	· 유기물 제거 또는 분해하는 토양의 능력
	생물학적 조절	· 영양관계를 통한 해충개체조절 · 질병조절 생물종의 수와 영향, 인간질병과 가축질병의 감소	· 사업시행이 위생·공중보건에 미치는 영향 예측 및 최소화 · 의료시설 현황, 상수도·하수도 현황, 법정 전염병 발생현황	· 종의 다양도
지원	서식처	· 번식, 먹이를 제공하는 생태계의 중요성 또는 이주종의 휴식서식처 · 이주종과 개체(상업적 가치 가진)의 수, 다른 생태계의 의존성(또는 경제성)	· 토지이용에 미치는 영향예측, 상위 및 관련 계획 내용과 부합토록 · 토지이용·배치계획 수립 · 토지이용·용도지역 현황, 토지 이용규제 및 입지·개발규모 규제여부, 중장기개발계획	· 토지피복도
문화	문화유산 과 고유성	· 경관 형태와 생물종의 문화적 중요성 · 문화적으로 중요한 경관형태와 생물종의 존재, 숲을 이용하는 사람의 수	· 자연환경자산의 분포현황 조사, 영향저감 · 멸종위기종, 각종 보호지역, 보호동·식물	· 개인의 주관성에 기반한 가치의 객관화
	여가 영감	· 매력적인 야생경관형태, 인간예술을 위해 경관형태 또는 생물종이 가지는 영감가치 · 인지된 경관과 야생경관 형태의 수/면적, 영감가치를 가진 경관 형태 또는 종의 수/면적	· 위락·여가시설의 이용빈도에 미치는 영향 및 시설 설치에 대한 배려 · 위락·여가와 관련있는 사항	
	미적가치	· 경관의 심미적 질 · 인지된 경관형태의 수/면적, 미적 가치표현(자연지역 경계에 있는 주거 수)	· 자연경관, 인문경관, 조망경관 자원에 미치는 영향 최소화	

* De Groot et al.(2010)의 내용 발췌하여 재정리

** 환경영향평가서 작성 등에 관한 규정에서 발췌하여 재정리

환경영향평가는 생태계의 기능적인 측면보다 개발에 따른 각 항목별 환경영향을 저감시키기 위한 방안들을 모색하는 것이다. 따라서 각 항목들이 서로 연계되지 않고 독립적으로 구성되어 있다. 반면, 생태계서비스 평가는 생태계의 구조와 기능에 초점을 두고 공급측면, 조절측면, 서식지 제공 측면 등의 관점에서 숲, 식생, 생물 등의 기능들을 서로 연계하여 평가하고 있다. 공급서비스와 관련된 환경영향평가는 대상수역의 수리·수문 변화를 최소화하고 동·식물 분류군별 현황조사와 보호가치가 있는 종의 존재유무가 평가의 중심이다. 반면에 생태계서비스 중 공급서비스 평가는 인간에게 혜택을 주는 물의 공급원, 유용한 물질을 가진 생물자원의 존재가 평가의 중심이다. 생태계서비스 중 조절서비스 평가는 생태계가 가지는 지역 기후와 대기오염물질을 정화하는 기능, 숲이 물을 흡수하고 배출함과 동시에 자연재해를 약화시키는 숲의 역할을 함께 볼 수 있었다. 숲의 존재는 한 가지 기능이 아니라 2가지 이상의 기능을 동시에 충족시켜 상생 효과를 가지게 된다.

두 평가의 뚜렷한 차이점을 살펴보면 환경영향평가는 인간이 자연을 이용하는 측면에 대한 고려가 부족한 편이나, 생태계서비스 평가의 경우 문화서비스 항목을 제외한 다른 항목에서는 인간이 현명하게 자연을 이용하는 측면을 포함하고 있다는 점이다. 따라서 두 평가 항목 간에 관련성이 있기는 하나 구체적인 내용 측면에서는 서로 다른 점이 있어 생태계서비스 평가를 위한 별도의 평가요소 개발이 필요한 것으로 판단된다.

즉, 환경영향평가는 개발사업 시행으로 인한 환경문제를 최소화하기 위해 평가항목의 매체별 환경영향을 저감하는 데 초점을 두기 때문에 생태적 기능을 평가할 수 있는 수단으로 구조화되어 있지 못하다고 볼 수 있다. 생태계서비스 평가는 생태계가 인간에게 제공하는 편익(benefit)과 기능을 계량화하는 것이다. 그러므로 생태계서비스 평가는 개발사업을 시행하는 과정에서 해당 지역의 생태계의 구조와 기능이 인간에게 제공하는 혜택을 최대화하도록 유도하는 것이 주목적이라고 할 수 있다(표 III-3). 또한 자연생태계의 역할과 인간의 혜택부분을 고려하고 생태계가 갖는 다양한 기능들을 강조함으로써 생태계 기능들이 단절되지 않

고 서로 연계되도록 나타낼 필요가 있었다.

표 Ⅲ-3. 생태계서비스 평가와 환경영향평가의 목적 및 시사점

구분	생태계서비스 평가	환경영향평가
평가목적	<ul style="list-style-type: none"> · 생태계의 구조와 기능이 인간에게 제공하는 혜택을 최대화 - 생태계서비스로 인한 혜택 도출 - 혜택 극대화 방안 마련 	<ul style="list-style-type: none"> · 사업시행으로 인한 환경문제의 최소화 - 항목별 환경문제 및 영향 도출 - 저감방안(회피, 제거, 감소) 마련
시사점	<ul style="list-style-type: none"> · 자연생태계의 역할과 인간의 혜택 부분을 고려 · 환경영향평가의 자연생태환경분야를 확대하여 생태계의 기능을 강조할 필요 	<ul style="list-style-type: none"> · 생태계서비스의 조절서비스와 지원 서비스 형태가 대부분 · 최종서비스인 공급과 문화서비스는 비중이 작고 정성적인 표현위주 · 인간의 혜택관점에서 언급 없음 · 인공시설물 도입 저감방안 포함

2. 택지개발사업에서의 생태계서비스 평가지표 도출

1) 평가항목의 선정

생태계서비스 평가항목을 선정하기 위한 1차 전문가 조사를 진행하여 17개 생태계서비스 평가항목으로 재설정하였다(표 Ⅲ-4).

표 Ⅲ-4. 생태계서비스 평가항목의 재설정

구분	평가항목			재설정 방법		재설정된 평가항목 (17개)		
	MA(2005) (28개)	De Groot et al. (2010) (23개)						
공급 서비스 (4)	음식	음식	→	용어수정	→	식량		
	담수	용수		.		용수		
	섬유	섬유, 연료, 다른 원료물질		용어수정		바이오매스		
	바이오매스 연료							
	유전자원	유전물질		통합		생물자원		
	생화학 약품, 자연약재 등	생화학 생산물과 자연약재						
조절 서비스 (6)	장식품	장식용 생물종과 자원	→	삭제		-		
	공기정화조절	공기정화조절	→	용어수정	→	대기정화조절		
	기후조절	기후조절		.		기후조절		
	폭풍우 보호	자연재난완화		용어수정		자연재난완화		
	물 조절	물 조절				가뭄조절		
	수질정화 및 폐기물 처리	폐기물 처리				자연정화조절		
	침식조절	침식조절		.		침식조절		
	(지원서비스로 분류)	토양형성과 재생		이동(→지원)				
	식물의 수분	식물의 수분		→		삭제		-
	인간 질병 조절	생물학적 조절						
	지원 서비스 (3)	서식지 제공		서식처		→	.	→
-		유전자풀 보호	삭제		-			
영양염 순환		-						
토양생성과 보류		(조절서비스로 분류)	통합		일차생산			
광합성		-						
일차생산		-	.	물순환				
물순환	-	→	용어수정	→	경관			
미적가치	미적가치		.		레크리에이션			
레크리에이션과 생태관광	레크리에이션과 관광		→		삭제		-	
영감	문화, 예술, 디자인을 위한 영감							
문화유산과 생물다양성, 장소성	문화유산과 고유성		.		문화유산			
정신적, 종교적 가치	정신적, 종교적 영감		→		삭제		-	
교육적 가치	교육과 과학의 기회							
문화 서비스 (4)	지식체계			.		교육적 가치		

2) 문헌조사를 통한 평가지표의 도출

재설정된 생태계서비스 평가항목을 기준으로 국내·외 문헌조사를 통해 표 III-5와 같이 생태계서비스 후보평가지표 40개를 도출하였다. 40개의 후보평가지표 중 어느 지표가 대표성과 측정용이성을 가지는지 구분하기 위해 다시 환경과 개발분야의 두 그룹으로 나누어 2차 전문가 설문을 실시하고 분석하였다. 그 결과 대표성의 경우 수변완충공간면적에 대해 환경분야 전문가의 평가점수가 개발분야 전문가보다 약간 높았다. 수변공간에서 자연정화조절기능을 중요하게 고려하고 있음을 알 수 있었다. 측정용이성의 경우 물질적능에 대해 개발분야 전문가의 평가점수가 환경분야 전문가보다 약간 높았다. 그러나 두 그룹 간에 유의한 차이는 나타나지 않았다. 따라서 이후 진행되는 분석에서는 환경과 개발분야 전문가 그룹간의 구분 없이 진행하였다.

다음으로 전문가 설문조사에 대한 집단통계량을 분석하였다. 그 결과를 보면, 대표성에 대한 결과값은 4.7(생물서식면적)부터 2.8(유역의 수)까지, 측정용이성에 대한 결과값은 4.8(경작지면적)부터 2.5(열쾌적성)까지 분포를 보였다. 전문가들이 생태계서비스 평가지표로서 대표성(환경분야/개발분야)이 크다고 본 지표는 생물서식면적(4.7/4.4), 종다양성(4.5/4.5), 녹지면적(4.3/4.2)이었다. 그리고 측정용이성이 높다고 응답한 지표는 경작지면적(4.8/4.6), 휴식공간(4.6/4.7), 녹지면적(4.5/4.4)이었다. 여기서 녹지면적은 대표성과 측정용이성이 모두 높아 생태계서비스 평가에서 녹지는 중요한 요소임을 보여주고 있었다. 한편 대표성이 낮다고 응답한 지표는 유역의 수(2.8/2.9), 토심(2.8/3.2), 연약지반면적(3.3/2.9)이었고, 측정용이성이 낮다고 본 지표는 바람생성(2.5/2.7), 열쾌적성(2.5/2.8), 인지된 경관의 다양성(2.5/2.8)이었다. 연약지반면적은 대표성과 측정용이성이 모두 낮게 나타난 지표였다.

한편, 조사에 참여한 전문가들이 제시한 의견(부록 3)들을 종합적으로 검토하였다. 그 결과, 통계분석값이 낮은 지표들의 수정뿐만 아니라 생태계서비스 평가 지표에 대한 전반적인 재검토가 필요한 것으로 나타났다.

표 Ⅲ-5. 문헌조사를 통한 생태계서비스 후보지표

종류	항목(17개)	후보 평가지표	
		지표(40개)	참고문헌
공급	식량	경작지면적	신규
	용수	유역의 수	신규
		유역면적	신규
		하천길이	유현석 등 2011
		우수 저류량	유현석 등 2011
	바이오매스	식물현존량	De Groot et al. 2010
	생물자원	자연성 변화	유현석 등 2011
		고유종 변화	De Groot et al. 2010
		종다양성 변화	유현석 등 2011
		풍부도 변화	유현석 등 2011
		식물구계학적 특정식물 변화	신규
조절	대기정화조절	SO ₂ 흡수량	이우성과 정성관 2011, 조용현과 조현길 2002
		NO ₂ 흡수량	이우성과 정성관 2011, 조용현과 조현길 2002
	기후조절	바람생성 변화	이우성과 정성관 2011
		열쾌적성 변화	윤민호와 안동만 2008
		녹지면적(율)	이관규 2003
	자연재난완화	급경사지면적	신규
		연약지반면적	신규
		지형변화면적	신규
	가뭄조절	투수성면적	양병이와 이관규 2002
		물 집적능	이우성 2011
	자연정화조절	수변완충공간면적	유현석 등 2011
		비점오염저감능	신규
	침식조절	식생피복면적	De Groot et al. 2010
		지형변동량	유현석 등 2011
		토심	신규
지원	서식지 제공	생물서식면적	양병이와 이관규 2002
		생물서식공간 연결성	양병이와 이관규 2002
		자연지형보전면적	양병이와 이관규 2002
	일차생산	순생산량	배승중 2005
	물순환	유역변형면적	신규
문화	경관	인지된 경관의 다양성	De Groot et al. 2010
		내부 녹지환경의 연계성	신규
		주변경관과 연계성	신규
	레크리에이션	보행공간	이재준 1998
		휴식공간	이재준 1998
		법정 보호종	신규
	문화유산	법정 보호지역과의 거리	신규
		특이 지질·지형	신규
	교육적 가치	교육면적	신규

3) 평가지표의 재선정

생태계서비스 평가는 개발사업의 계획단계에서 이루어진다. 택지개발사업의 환경영향평가서에서 제공하는 정보를 기반으로 개발계획단계에서 평가가 용이할 수 있도록 개발사업 전·후상태에 대한 생태적 기능 변화를 평가할 수 있어야 한다. 개발사업에 따라 토지이용변화가 발생하는 공간은 사업대상지 내부이다. 개발에 따른 생태적 영향은 대상지 내부뿐만 아니라 주변부도 받을 수 있지만 평가에 이용할 수 있는 조사자료가 부족하여 사업대상지 내부의 생태공간을 생태계서비스 평가대상으로 한정하였다. 이에 따라 생태계서비스 평가지표들 간에 평가대상이 중복될 우려가 있기 때문에 지표별 평가대상을 차별화하는 것이 중요하였다. 따라서 개별지표에 대한 문헌연구를 추가적으로 실시하고 생태계서비스 종류별 특성을 반영하여 표 Ⅲ-6과 같이 서비스 유형별 평가 주안점을 설정하였다. 이를 검증하기 위해 전문가 자문을 받았다.

표 Ⅲ-6. 생태계서비스 평가 주안점 및 내용 수정

구분	평가 주안점	평가내용
공급서비스 조절서비스	생태적 공간의 양에 대한 평가	인간이 직접 또는 간접적으로 이용
지원서비스	생태적 공간의 질에 대한 평가	공급, 조절, 문화서비스를 지원하는 서식공간
문화서비스	생태적 공간의 구조(분포)에 대한 평가	공간적 구조 분석방법 적용

공급서비스는 인간이 직접 이용할 수 있도록 식량이나 용수 등을 제공하는 생태계 기능을 말하므로 인간에게 제공하는 양을 평가하였다. 조절서비스는 인간의 생활에 피해를 주는 요소를 저감시키는 생태계 기능으로 보고 인간에게 직접 제공하지는 않지만 인간이 받을 수 있는 피해를 줄이는 생태계 기능으로써 결국 생태계 기능의 양적 측면이 중요하다고 볼 수 있다.

이에 반해 지원과 문화서비스는 양으로 평가하기 어려운 서식지 질과 인간의 인식에 기반한 요소를 포함하고 있어 다른 측면에서 접근하는 것이 필요하였다.

지원서비스는 인간 이외 생물의 생존에 적합한 환경을 제공하는 생태계 기능으로써 공급서비스, 조절서비스와 문화서비스를 지원(MA, 2005)하는 특성을 가진다. 생물의 생존에 적합한 환경이 유지되면 개별 서비스 기능이 향상되므로 생물의 서식공간에 대한 질적 측면에 착안하여 평가하였다.

문화서비스는 인간이 생태계의 현명한 이용을 도모하는 측면에서 본 생태계 기능이다. 인간이 생태계를 이용하는 측면을 평가하기 위해서 이용공간에 대한 하드웨어적 접근과 이용프로그램에 대한 소프트웨어적 접근이 동시에 필요하다. 그러나 이용공간을 평가하는 것은 개발계획단계에서 고려할 수 있지만, 이용프로그램에 대한 평가는 개발사업의 완료 후 실제 운영단계에서 평가가 가능하다. 이용프로그램이 마련되지 않은 계획단계에서 평가하는 것은 어렵기 때문에 문화서비스가 제공될 수 있는 공간을 평가하는 것으로 한정하였다. 이상과 같이 생태계 서비스 유형별 평가주안점을 수정하고 생태계서비스 평가지표를 재선정(20개)하였으며 전문가 심층인터뷰를 거쳐 검증하였다(표 III-7).

공급서비스에는 농산물생산량, 침투량, 식물현존량, 생태1·2등급권역의 4개 지표가 선정되었다. 조절서비스에는 미세먼지저감량을 포함한 대기오염물질흡수량, 수·녹지면적, 탄소저장량, 활엽수·혼효림면적, 투수성지반면적, 수질오염정화능, 환경사지피복면적의 7개 지표가 선정되었다. 지원서비스에는 서식규모의 안정성, 서식공간의 이질성, 지형보전·복구면적의 3개 지표가 선정되었다. 문화서비스에는 경관미, 레크리에이션활동공간면적, 분산도, 다양성, 근접성, 그리고 잠재성의 6개 지표가 재선정되었다.

재선정된 생태계서비스 종류별 지표 개수를 살펴보았다. 전체 20개 지표 중 조절서비스 평가지표 7개(전체 대비 35% 차지), 문화서비스 평가지표 6개(30%), 공급서비스 평가지표 4개(20%), 그리고 지원서비스 평가지표 3개(15%)였다. 생태계서비스 평가지표 수는 새천년생태계평가(2005)의 생태계서비스 분류체계에서도 서비스 종류에 따라 차이가 있었다. 여기서는 조절서비스 8개, 공급서비스와 문화서비스 7개, 그리고 지원서비스 6개였다.

표 Ⅲ-7. 생태계서비스 평가지표 선정

구분	평가항목	후보 평가지표(40개)	수정방법		평가지표(20개)
공급 서비스	식량	경작지면적	용어수정	→	농산물생산량
	용수	유역의 수 유역면적	삭제	→	침투량
		하천길이 우수저류량	통합		
	바이오매스	식물현존량변화	용어수정		식물현존량
	생물자원	자연성 고유종 종다양성 풍부도	통합	→	생태1·2등급권역
		식물구계학적 특정식물	삭제		
조절 서비스	대기정화조절	SO2흡수량 NO2흡수량	통합	→	대기오염물질흡수량 (미세먼지저감량 추가)
	기후조절	바람생성변화 열쾌적성변화	수정		수·녹지면적
		녹지면적(율)	수정	→	탄소저장량
	자연재난완화	급경사지면적	수정	→	활엽수·혼효림면적
		연약지반면적 지형변화면적	삭제		
	가뭄조절	투수성면적 물집적능	통합	→	투수성지반면적
	자연정화조절	수변완충공간면적 비점오염저감능	통합	→	수질오염정화능
	침식조절	식생피복면적	수정		환경사지피복면적
		지형변동량 토심	삭제		
지원 서비스	서식지 제공	생물서식면적	수정	→	서식규모의 안정성
		생물서식공간의 연결성	수정		서식공간의 이질성
		자연지형보전면적	수정		지형보전·복구면적
	일차생산	순생산량	통합(식물현존량)		-
	물순환	유역변형면적	통합(가뭄조절)		-
문화 서비스	경관	인지된 경관의 다양성 내부 녹지환경의 연계성 주변경관과 연계성	수정	→	경관미
	레크리에이션	보행공간 휴식공간	수정	→	레크리에이션활동공간면적 분산도 다양성
	문화유산	법정보호종 법정보호지역과의 거리 특이지형·지질	삭제		-
	교육적 가치	교육면적률	수정	→	근접성 침채성

3. 생태계서비스 평가지표별 측정방법과 평가방법

1) 평가방법의 틀

택지개발사업이 생태계서비스에 미치는 영향을 평가하기 위해서는 개발사업으로 인한 생태계서비스의 상태변화를 반영할 수 있는 평가체계와 평가방법이 필요하다. 즉, 개발 전과 개발 후의 상태변화를 정량적으로 측정할 수 있어야 한다.

이에 따라, 생태계서비스 평가지표(표 III-7)는 개발 전과 개발 후의 각 상태를 산정하고 그 변화정도를 판단하기 위해 다음과 같이 평가방법의 틀을 설정하였다. 개발로 인한 생태계서비스 상태변화는 개발 후 생태계서비스 산정값에서 개발 전 산정값의 차이를 계산하면 생태계서비스의 증감정도를 파악할 수 있게 된다. 개발에 따른 생태계서비스 평가는 생태계서비스 상태변화 산정값에서 개발 전 생태계서비스 산정 값을 나눈 식(III-1)과 같이 산출할 수 있다.

$$\text{생태계서비스 평가} = \frac{(\text{개발후} - \text{개발전}) \text{ 생태계서비스 산정값}}{\text{개발전 생태계서비스 산정값}} \quad (\text{III}-1)$$

여기서, 개발 후 생태계서비스 상태가 개발 전보다 향상되면 생태계서비스 평가값은 양(+)의 값, 생태계 훼손으로 인해 개발 후 산정 값이 개발 전보다 낮으면 생태계서비스 평가값은 음(-)의 값을 가진다. 만약 개발 전과 개발 후의 상태변화가 없다면 생태계서비스 평가값은 0(제로)값을 가진다. 이로써 생태계서비스 평가값의 범위는 음수부터 양수까지이다. 토지이용변화에 따른 생태계서비스 변화를 평가한 선행연구에 따르면, 현재 생태계서비스 상태는 생태계서비스변화지수(Ecosystem Services Change Index, ESCI)를 계산하여 표현하였다(Leh et al., 2013). 여기서 생태계서비스변화지수란 과거 생태계서비스와 현재 생태계서비스의 차이를 과거 생태계서비스 기능으로 나눈 것이다. 생태계서비스 평가값은 -1에서 +1의 값으로 나타낸 바 있다.

생태계서비스 평가의 목표는 개발 후 생태계서비스 상태가 개발 전보다 증진

할 수 있도록 개발계획을 유도하는 것이라 할 수 있다. 생태계서비스 평가에서는 이러한 평가목표가 뚜렷이 나타날 수 있어야 한다. 최적의 개발 상태는 식(Ⅲ-2)과 같이 개발 전 생태계서비스가 없는 상태에서 개발 후 생태계서비스를 제공하는 경우로써 생태계서비스 평가값은 1이상이 된다.

$$\text{생태계서비스 평가 목표} : 0 < \frac{(\text{개발후} - \text{개발전}) \text{ 생태계서비스 산정값}}{\text{개발전 생태계서비스 산정값}} \quad (\text{Ⅲ-2})$$

따라서 생태계서비스 평가값은 개발 전과 개발 후 생태계서비스의 상태변화를 나타내고 있다. 또한 생태계서비스 개별 평가지표의 평가값을 보면 어느 부분이 취약한 지 파악할 수 있게 된다.

2) 평가지표 측정방법의 설정

생태계서비스 평가지표의 측정방법은 생태계서비스 평가 틀에 따라 각 지표별 선행연구를 참조하여 개발 전과 개발 후 상태변화를 측정할 수 있도록 후보측정방법을 도출하였다. 본 연구의 평가대상이 개발 전·후 토지이용변화가 나타나는 개발대상지 내부지역이므로 각 지표별 후보측정방법이 보금자리주택지구 내부 생태공간을 대상으로 시험적용을 거쳐 지표별 측정방법으로 설정하였다.

(1) 공급서비스 평가지표

공급서비스는 생태계가 인간에게 식량, 용수 등을 직접적으로 제공하는 생태계 서비스로써 이의 평가는 택지개발사업 전·후의 상태를 양적인 측면에서 이루어졌다.

① 농산물생산량 지표

식량은 인간이 먹을 수 있는 음식을 제공하는 생태계서비스이며 대상지역 내 농산물생산량으로 산출하였다. 대상지역이 속한 기초지방자치단체 작물별 단위면

적당 생산량자료를 이용하여 개발 전 농산물생산량을 산정하였다(식 Ⅲ-3).

답(畓)은 식량작물(1)인 쌀과 보리생산지역으로 보고 지방자치단체 전체 답의 면적과 대상지역내 답의 면적비율을 구하였다. 식량생산량은 그 면적비율로써 산정하였다. 전(田)은 쌀과 보리이외의 식량작물(2), 채소류 그리고 특용작물 생산지역으로 보았는데, 작물별 단위면적당 연간생산량은 지방자치단체 전체 전의 면적에 작물별 생산면적으로 작물별 면적비율을 구한 다음 각각 계산하였다.

$$\text{농산물 생산량} = \text{식량생산량}_{\text{답}} + \text{식량생산량}_{\text{전}} \quad (\text{Ⅲ-3})$$

여기서,

$$\text{식량생산량}_{\text{답}} = \frac{\text{대상지내 답의 면적}}{\text{지자체 전체 답의 면적}} \times \text{식량작물 1 단위면적당 연간생산량} \quad (\text{Ⅲ-4})$$

$$\text{식량생산량}_{\text{전}} = \sum (\text{대상지내 작물별 전의 면적} \times \text{작물별 단위면적당 연간생산량}) \quad (\text{Ⅲ-5})$$

$$\text{대상지내 작물별 전의 면적} = \frac{\text{지자체 작물별 면적}}{\text{지자체 전체 전의 면적}} \times \text{대상지 전의 면적} \quad (\text{Ⅲ-6})$$

개발 후 토지이용계획에서 전과 답의 조성계획이 없는 경우 식량생산량은 0으로 간주하였다.

② 침투량

용수는 인간이 이용할 수 있도록 물을 공급하는 생태계서비스이다. 강수로부터 자연적으로 공급되어 이용할 수 있는 양을 산정하여야 한다. 지상에 내린 강수의 일부는 지표면에 있는 나무의 엽면 또는 식생표면에 의해 차단되거나 지표면의 함몰부분에 저류된다. 완전히 습윤상태에 도달하면 침투가 일어나 지표면의 토양층으로 스며들고 강수량의 일부는 지표면을 따라 흘러 유출된다(윤용남, 1998). 강수는 차단이나 요면저류 같은 강수손실, 침투, 그리고 지표유출로 구분된다. 개발로 인한 토지이용변화와 불투수층의 증가는 물의 유출과 침투량에 변

화를 가져온다. 도시화된 유역의 경우 불투수지표면은 대부분 하수 또는 우수배제시스템과 직접 연결되어 있어 유출된 양은 생태계의 영향을 받은 것으로 보기 어렵다(오경두 등, 2005). 이러한 이유 때문에 강수로 인한 도시유역의 유출은 자연지역에 비해 대단히 빠르고 유출량도 상대적으로 커지게 된다.

본 연구에서 용수량은 강수로부터 자연적으로 공급되어 이용할 수 있는 양으로 정의하였다. 즉, 용수량은 개발대상지역 내·외부 인공시설물로 유입되는 유출량은 제외하고 대상지 내부 공간에서 머무르거나 침투되어 이용할 수 있는 차단, 저류와 침투를 합한 양으로 한정하였으며 식(Ⅲ-7)과 같이 침투량으로 보았다. 강수량은 대상지면적에 확률강우량을 곱하여 식(Ⅲ-8)를 이용하여 산출하였다. 여기서 확률강우량은 전문가 자문결과를 반영하여 환경영향평가서에서 제시한 10년 지속기간별 1440시간 확률강우량으로 일괄 적용하였다.

$$\text{용수량} \approx \text{침투량} = \text{강수량} - \text{유출량} \quad (\text{Ⅲ-7})$$

$$\text{강수량} = \text{대상지면적} \times \text{확률강우량} \quad (\text{Ⅲ-8})$$

유출량(Q)은 국내·외에서 널리 사용되고 있는 미국 토양보존국(SCS)에서 개발한 유출곡선지수법(runoff curve number method, CN)⁸⁾을 적용하여 식(Ⅲ-9)와 같이 산출하였다. 유출곡선지수법은 도시유역의 불투수면적 증가에 따른 수문학적 영향을 반영할 수 있고 유출량 실측자료 없이 유역의 수문학적 토양특성과 식생피복상태 등에 대한 자료만으로도 유출량을 산정할 수 있다(윤용남, 1998). 즉, 수문학적 토양군, 토지이용, 피복밀도 등의 특성을 유출곡선지수로 쉽게 나타낼 수 있는 특징이 있다(김태철 등, 1997).

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (\text{Ⅲ-9})$$

여기서, Q는 유출량(mm), P는 총강우량(mm), S는 최대잠재보류량으로 강우유출이 시작시점 이후로 유역이 보류(保留)할 수 있는 최대보류능력을 의미한다.

8) 유출곡선지수법은 NEH-4(US SCS, 1985)에 자세히 기술되어 있다.

$$S = \frac{25,400}{CN} - 254 \quad (\text{III}-10)$$

최대잠재보유량 S는 식(III-10)과 같이 CN을 통하여 유역의 토양과 토지피복인자에 직접적으로 연관되어 있다. CN은 0에서 100사이 자연수 값을 가지며(US SCS, 1986), CN이 0이면 유역의 보류능력이 무한대를 의미하여 유역 내 모든 강우량이 보류되어 직접 유출이 전혀 발생하지 않는 경우이고, CN이 100이면 유역의 보류능력은 0이 되어 강우가 모두 직접 유출되는 것을 의미한다(오경두 등, 2005). 이처럼 CN은 수문학적 토양군에 따라 달라진다.

수문학적 토양군에 대하여 미국 토양보존국(SCS)의 토양학자들은 토양의 성질을 이용하여 표 III-8과 같이 A,B,C,D의 4개 형태로 분류하였다. 토양군별 침투능의 크기는 A,B,C,D순이나 유출률은 D,C,B,A 순이다. 우리나라의 토양군 분류는 농촌진흥청 개략토양도 또는 정밀토양도를 이용하고 있다. 토양도상에서 토양군을 A,B,C,D로 구분한 후 이를 지형도 상에 분포시켜 토양군별 면적으로 구분한다.

표 III-8. NRCS의 수문학적 토양그룹

토양그룹	토양의 특성
Type A	유출이 가장 적음, 침투율이 가장 큼 실트와 점토를 약간 포함한 모래층 및 자갈층으로 배수가 양호
Type B	비교적 낮은 유출률, 비교적 높은 침투율 자갈이 섞인 사질토로 배수가 대체로 양호
Type C	비교적 높은 유출률, 비교적 낮은 침투율 상당수의 점토와 콜로이드 물질을 포함하고 있어 배수불량
Type D	유출률이 가장 큼, 침투율이 가장 낮음 대부분이 점토질로 이루어져 배수가 대단히 불량

자료: 환경부(2008), 비점오염저감시설의 설치 및 관리·운영 매뉴얼

본 연구에서는 농촌진흥청의 정밀토양도를 사용하였다. 표 III-9와 같이 토양도의 수문군 분류표에 따라 토양도내 분류를 사질, 사양질과 미사사양질, 식양질과 미사식양질, 그리고 식질로 단순화시켜 구분 적용하였다.

표 Ⅲ-9. 토양의 수문학적 특성과 토양도의 수문군 분류표

구분	토양도내 분류	유효 저류능 (cm/cm)	최소침투속도 (mm/hr)	NRCS 분류
모래(Sand)	사 질	0.35	8.27	A
양질사토(Loamy Sand)		0.31	2.41	A
사질양토(Sandy Loam)	사양질/미사사양질	0.25	1.02	B
양토(Loam)		0.19	0.52	B
미사질양토(Silt Loam)	식양질/미사식양질	0.17	0.27	C
사질식양토(Sandy Clay Loam)		0.14	0.17	C
식양토(Clay Loam)	식 질	0.14	0.09	D
미사질 식양토(Silty Clay Loam)		0.11	0.06	D
사질점토(Sandy Clay)		0.09	0.05	D
미사질점토(Sandy Clay)		0.09	0.04	D
점토(Clay)		0.08	0.01	D

자료: 환경부(2008), 비점오염저감시설의 설치 및 관리·운영 매뉴얼

유출곡선지수(CN)값은 배덕효 등(2003)이 미국 SCS의 CN값 산정방법을 검토하여 우리나라 피복분류항목(한국환경정책·평가연구원, 1999)에 적합한 CN값으로 산정한 것을 바탕으로 표 Ⅲ-10과 같이 적용하였다. 토지이용분류에서 개발 전 토지피복중분류와 개발 후 토지이용계획에 따라 수문학적 토양군의 유형별 면적을 구한 다음 유출량을 산정하였다. 침투량은 식(Ⅲ-7)과 같이 강수량에서 유출량을 뺀 값으로 산출하였다.

③ 식물현존량

바이오매스(Biomass)는 잠재적으로 목재, 연료 등으로 사용할 수 있는 것으로 생태계가 제공하는 서비스이다. 바이오매스는 어느 시점에서 임의의 공간 내에 존재하는 특정 생물체의 양을 중량 또는 에너지량으로 나타낸 것으로, 생물량 또는 생물체량이라고도 한다(Schroeder et al., 1997; 김현, 2009).

본 연구에서는 현재 개발사업의 환경영향평가서에서 제시하고 있는 개발 전과 개발 후 식물현존량을 적용하였다. 식물현존량은 녹지자연도 등급별 식물현존량 및 연간 순생산량 산정방식을 사용하였다(김지영 등, 2002). 여기서 산정방식은 녹지자연도 등 식생에 관계된 주요 요인들로부터 산출된 Cramer's의 상관계수

표 III-10. 개발 전과 개발 후 토지이용분류에 따른 CN값

개발 전	수문학적 토양군				개발 후
토지피복(중분류)	A	B	C	D	토지이용계획
주거지역	58	73	82	86	단독주택, 연립주택, 공동주택, 학교, 생활체육시설, 공공공지, 보행자전용도로, 광장, 도시형생활주택, 교육시설, 수도용지, 하수도
공업지역	81	88	91	93	
상업지역	95	96	97	97	근린생활시설, 상업시설, 공공청사, 사회복지시설, 문화시설, 복합커뮤니티센터, 종교시설, 도시지원시설, 준주거용지, 업무시설, 도서관, 호텔, 유보지, 자족기능시설, 주유소, 전기공급시설
교통지역(도로)	87	91	93	94	도로, 주차장, 복합환승센터
논	78	78	78	78	
밭	64	75	82	86	
과수원	44	66	77	83	
기타재배지, 하우스재배지	59	74	82	86	
산림지역(임야)	47	68	79	86	
자연초지	30	58	71	78	
기타초지, 골프장	52	70	80	85	공원(근린공원, 수변공원, 소공원, 어린이공원), 녹지(완충녹지, 경관녹지, 연결녹지, 저류지, 유수지), 훼손지복구용지
기타나지	77	86	91	94	
내륙습지	98	98	98	98	
하천	100	100	100	100	하천

자료: 위성영상피복분류항목에 대한 CN값(배덕효 등, 2003)을 재구성

(Cramer's Coefficient of Contingency)로부터 유도된 분석치를 이용하여 추정
한 것이다(표 III-11). 식물현존량 비율은 자연림을 기준으로 100이라 하였을 때
녹지자연도 등급별 상대적인 식물현존량을 나타내었다. 녹지자연도 등급별 식물현
존량은 경작지와 2차초원(Ⅰ), 과수원과 2차초원(Ⅱ), 그리고 조림지와 2차림이 비
슷하였다. 조림지의 식물현존량은 경작지 식물현존량의 4배, 과수원 식물현존량의
2.7배에 달하였다.

표 III-11. 녹지자연도에 의한 식물현존량과 순생산량 산정계수

녹지자연도 등급		식물현존량(ton/km ²)	비율(%)	순생산량(ton/km ² ·yr)
1	시가지조성지		0.4	
2	경작지	1,680	1.4	920
3	과수원	2,480	2.1	940
4	2차초원(I)	1,490	1.3	890
5	2차초원(II)	2,320	2.0	730
6	조림지	6,660	5.6	1,200
7	2차림(I)	6,070	5.1	570
8	2차림(II)	7,000	5.9	540
9	자연림	118,400	100.0	840
10	고산자연초원	11,900	10.1	1,800

자료: National census of vegetation, Office of environment, Japan, 1976, p7~36. 저자 재구성
출처: 김지영 등, 2002, 환경영향의 합리적 예측 평가를 위한 기법연구.

④ 생태1·2등급권역

생물자원은 잠재적으로 유전물질, 화학물질, 약효가 있는 자원 또는 관상용 자원 등으로 사용할 수 있게 생태계가 제공하는 서비스이다. 생태적 가치가 높은 지역이 생태자원을 보유하고 활용할 가능성이 높은 것으로 판단하여 개발사업의 환경영향평가서에 제시된 생태자연도 등급별 면적인 생태1·2등급권역 면적을 고려하였다.

생태·자연도는 「자연환경보전법」 제2조에 따라 산, 하천, 내륙습지, 호소, 농지, 도시 등에 대한 자연환경을 생태적 가치, 자연성, 경관적 가치 등에 따라 1등급부터 3등급, 그리고 별도관리지역으로 등급화한 지도를 말한다. 녹지의 자연성 뿐만 아니라 자연환경에 대한 생태·자원·경관적 가치를 판단할 수 있는 통합적 지표의 의미를 가진다고 볼 수 있다. 환경부장관은 동법 제34조에 따라 토지이용 및 개발계획의 수립이나 시행에 활용하기 위해 전국의 자연환경조사 결과에 기초하여 생태자연도 등급별 특성을 적시하고 있다(표 III-12).

생태자연도 1등급지역인 생태1등급권역은 생태·자연·경관적으로 가장 우수한 지역이다. 자연환경의 보전과 복원대상지역으로 대부분 개발사업에서 제척되고 있

표 III-12. 생태자연도 등급별 특성

등급	특성
1등급	가. 「야생생물 보호 및 관리에 관한 법률」 제2조제2호에 따른 멸종위기 야생생물(이하 "멸종위기야생생물"이라 한다)의 주된 서식지·도래지 및 주요 생태축 또는 주요 생태통로가 되는 지역 나. 생태계가 특히 우수하거나 경관이 특히 수려한 지역 다. 생물의 지리적 분포한계에 위치하는 생태계 지역 또는 주요 식생의 유형을 대표하는 지역 라. 생물다양성이 특히 풍부하고 보전가치가 큰 생물자원이 존재·분포하고 있는 지역 마. 그 밖에 가목 내지 라목에 준하는 생태적 가치가 있는 지역으로서 대통령령이 정하는 기준에 해당하는 지역
2등급	· 1등급의 각 목에 준하는 지역으로서 장차 보전의 가치가 있는 지역 또는 1등급 권역의 외부지역으로서 1등급 권역의 보호를 위하여 필요한 지역
3등급	· 1등급 권역, 2등급 권역 및 별도관리지역으로 분류된 지역외의 지역으로서 개발 또는 이용의 대상이 되는 지역
별도관리 지역	· 다른 법률의 규정에 의하여 보전되는 지역중 역사적·문화적·경관적 가치가 있는 지역이거나 도시의 녹지보전 등을 위하여 관리되고 있는 지역으로서 대통령령이 정하는 지역

자료: 「자연환경보전법」(법률 제11671호, 2013년 3월 22일 일부개정) 제34조제1항 조문 재구성
출처: www.law.go.kr(법제처 홈페이지)

어 실제 개발대상지에서 1등급권역은 찾아보기 어렵다. 3등급지역은 개발이 허용되는 지역으로 생물자원의 측면에서 보전가치가 낮다고 볼 수 있다. 동일한 면적이라 하더라도 1, 2, 3등급이 갖는 생물자원의 가치는 차이가 나기 때문에 등급 차이에 대한 고려가 필요하다. 따라서 생태자연도 등급에 따라 생태적 가치를 고려한 가중치 값으로 김경호와 이상혁(2011)의 연구를 참고하여 생태자연도 1등급 지역은 2, 2등급지역은 1.5, 그리고 3등급지역은 1의 가중치를 부여하여 해당 면적을 산정하였다(표 III-13).

$$\text{생태1,2등급권역} = \sum(\text{생태자연도 등급별 면적} \times \text{가중치}) \quad (\text{III-11})$$

$$\text{가중치} = \text{등급별 가중치} \times \text{원형보전지역 가중치} \quad (\text{III-12})$$

개발 후 대상지내 원형보전지역이 있을 경우에는 개발 전 생태자연도 등급을 그대로 적용하고 원형보전지역이 가지는 생태자원의 가치를 고려하기 위해 전문

가 자문을 거쳐 원형보전지역은 1.2의 가중치를 추가 부여(식 Ⅲ-12)하여 면적을 산정하였다. 그 외 지역에 대해서는 생태자연도 3등급지역으로 가정하여 산정하였다.

표 Ⅲ-13. 생물자원의 가치를 고려한 가중치 값

구분	생태자연도 등급			원형보전지역	
	생태자연도 1등급지역	생태자연도 2등급 지역	생태자연도 3등급 지역	원형보전지역 유	원형보전지역 무
가중치	2	1.5	1	1.2	1

자료: 김경호와 이상혁, 2011, 저자 재구성

(2) 조절서비스 평가지표

조절서비스는 인간의 생활에 피해를 주는 요소를 저감시키는 생태계 기능을 가진 생태계서비스로써 개발사업 전과 후의 상태를 양으로 평가하였다.

① 대기오염물질흡수량

대기정화조절은 대기오염물질을 흡수하는 생태계 기능으로 식생에 의한 SO₂, NO₂, 그리고 분진흡수량을 더하여 대기오염물질흡수량을 산정하였다.

도시의 대기질에 영향을 끼치는 주요 대기오염물질은 아황산가스, 일산화탄소, 이산화질소, 미세먼지 등이 있다(환경백서, 2011a). 대기 중의 오염물질을 흡수하여 대기를 정화시키고 동시에 산소를 내주어 생물들이 숨 쉴 수 있게 해주는 대기정화기능은 녹지의 환경개선기능 중 가장 널리 알려져 있다(국립환경연구원, 1997). 도시 수목은 광합성과 같은 대사과정을 통해 대기오염물질을 흡수하거나 정화하여 대기질을 개선시키는 효과가 있다(Smith, 1990). 이러한 수목의 대기오염물질 정화능력은 식생의 종 구성, 생육상태, 잎의 표면적, 수직적 구조에 따른 대기의 흐름, 주변의 오염물질 농도 등에 따라 다르기 때문에 일률적으로 어느

수종 혹은 어떤 숲이 얼마나 많은 오염물질을 흡수하는지 알기 어렵다. 국립환경연구원(1997)은 기존의 자료를 토대로 수목의 정화능력을 제시하였다.

본 연구에서 대기오염물질의 흡수량 원단위는 국립환경연구원(1997)의 연구에서 간접 인용한 Smith(1990)의 연구를 참고하여 식생의 대기오염물질흡수량을 표 Ⅲ-14와 같이 적용하였다. 식생의 종류에 따라 대기오염물질흡수량에 차이가 있다. 국립환경연구원(1997)에 따르면 식생의 이산화황 흡수량을 기준으로 활엽수림>침엽수림>관목>초본 순으로 흡수량이 작아진다. 활엽수림의 흡수량을 1로 볼 때, 침엽수림은 활엽수림의 1/3, 관목은 활엽수의 1/5, 초본은 활엽수의 1/10에 해당하는 흡수량을 가진 것으로 보았다(고은주, 2005). 식생 종류별 대기오염물질 흡수량은 활엽수림을 1이라 하면, 침엽수림 0.35, 관목 0.2, 초본 0.1이다. 식생의 대기오염물질흡수량은 아래 식(Ⅲ-13)과 같이 산정하였다.

표 Ⅲ-14. 식생의 대기오염물질흡수량

(흡수량 단위: kg/ha/yr)

구 분	SO ₂	NO ₂	분진	계	비율
침엽수림	120	240	140	500	0.35
활엽수림	360	690	380	1430	1
관목(활엽수의 20%)	72	138	76	286	0.2
초본(활엽수의 10%)	36	69	38	143	0.1

자료: 국립환경연구원(1997, 도시유형별 녹지의 환경개선기능 평가 11~15쪽)

$$\text{대기오염물질 흡수량} = \text{식생의 } SO_2 \text{ 흡수량} + NO_2 \text{ 흡수량} + \text{분진 흡수량} \quad (\text{Ⅲ-13})$$

$$\begin{aligned} \text{식생의 } SO_2 \text{ 흡수량} = & \text{침엽수림면적} \times SO_2 \text{ 흡수량} + \text{활엽수림면적} \times SO_2 \text{ 흡수량} + \\ & \text{관목면적} \times SO_2 \text{ 흡수량} + \text{초본면적} \times SO_2 \text{ 흡수량} \quad (\text{Ⅲ-14}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{식생의 } NO_2 \text{ 흡수량} = & \text{침엽수림면적} \times NO_2 \text{ 흡수량} + \text{활엽수림면적} \times NO_2 \text{ 흡수량} + \\ & \text{관목면적} \times NO_2 \text{ 흡수량} + \text{초본면적} \times NO_2 \text{ 흡수량} \quad (\text{Ⅲ-15}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{식생의 분진 흡수량} = & \text{침엽수림면적} \times \text{분진 흡수량} + \text{활엽수림면적} \times \text{분진 흡수량} + \\ & \text{관목면적} \times \text{분진 흡수량} + \text{초본면적} \times \text{분진 흡수량} \quad (\text{Ⅲ-16}) \end{aligned}$$

개발 전 식생유형별 면적은 개발사업의 환경영향평가서에서 제시한 식생현황 조사자료를 사용하였다. 2차림은 활엽수림과 침엽수림으로 구분하였고 식생유형이 혼효림인 경우에는 침엽수림과 활엽수림의 비율을 구하여 산정하였다. 기타 식생은 초본과 관목으로 구분하였다. 농경지중 논, 밭, 묘포장과 묘지는 초본으로 분류하고, 과수원은 관목으로 분류하였다.

개발 후 식생면적은 토지이용계획에 따른 녹지면적과 공원면적을 적용하였다. 공원면적의 경우는 공원 내 시설면적 등을 제외한 순수 수목 식재지 면적을 사용하였다. 공원 내 순수 수목 식재지면적은 「도시공원 및 녹지 등에 관한 법률」 시행규칙 별표4의 도시공원시설 부지면적 기준을 적용하여 공원유형별 녹지면적을 고려하여 산정하였다(표 Ⅲ-15).

표 Ⅲ-15. 공원내 녹지면적

공원	공원내 부지면적 기준	녹지면적율
소공원	공원면적 100분의 20이하	80%
어린이공원	공원면적 100분의 60이하	40%
근린공원	공원면적 100분의 40이하	60%
수변공원	공원면적 100분의 40이하	60%

자료: 「도시공원 및 녹지 등에 관한 법률 시행규칙」(국토해양부령 제550호, 2012년 12월 11일, 일부개정) [별표 4. 도시공원 안 공원시설 부지면적] 재구성(법제처: <http://www.law.go.kr>)

식생유형별 면적은 개발 후 식생면적에서 국토해양부의 「조경기준」(국토해양부고시 제2009-35호(2009.1.23))을 적용하여 식생유형별 식재면적을 유추하고 식(Ⅲ-18~Ⅲ-20)을 이용하여 산정하였다. 여기서 식재면적은 「조경기준」 제5조에서 당해 지방자치단체의 조례에서 정하는 조경면적의 100분의 50 이상이어야 하는 기준을 충족한다고 가정하였다. 식재된 부분 면적과 조경시설 공간 면적을 합한 조경면적은 개발 후 식생면적의 1/2 이상으로 하였다. 식재수량은 제7조에 따라 녹지지역의 경우 조경면적 1제곱미터당 교목은 0.2주 이상, 관목은 1.0주 이상으로 하여 교목은 관목의 1/5로 산정하였다. 또한 제8조에서 상록수 식재비율은 교목 및 관목 중 규정 수량의 20% 이상으로 한다는 규정에 따라 소나무, 잣나무

등 침엽수림은 활엽수림의 1/5로 보아 다음과 같이 종합하였다. 초본의 경우 별도의 식재기준이 없어 산정에 포함하지 않았다.

$$\text{개발후 식생면적} = \text{녹지면적} + \sum(\text{유형별 공원면적} \times \text{녹지면적률}) \quad (\text{III}-17)$$

$$\text{활엽수림면적} = \frac{\text{개발후 식생면적}}{2} \times \frac{1}{5} \times \frac{4}{5} \quad (\text{III}-18)$$

$$\text{침엽수림면적} = \frac{\text{개발후 식생면적}}{2} \times \frac{1}{5} \times \frac{1}{5} \quad (\text{III}-19)$$

$$\text{관목면적} = \frac{\text{개발후 식생면적}}{2} \times \frac{4}{5} \quad (\text{III}-20)$$

② 수·녹지면적

기후조절은 수·녹지면적과 탄소저장량 지표를 적용하였다. 수·녹지면적은 도시 열섬현상과 같은 부정적 측면의 미기후를 조절하는 생태계 기능으로 미기후에 영향을 미치는 대표적 인자인 토지이용형태, 수역과 식물의 영향을 고려하였다.

미기후(microclimate)는 같은 기후대에 속하지만 도시, 교외, 또는 한 건물이 위치한 곳의 기후가 차이가 나는 특성을 뜻한다(김광우, 1988). 같은 기후조건에 있는 두 대지의 거리가 불과 수 십 미터밖에 떨어져 있지 않더라도 대지요소인 지형형태, 표고, 식생, 수원(water bodies) 등에서 차이가 나면 두 대지의 미기후는 달라진다(이현우, 1994).

미기후를 발생시키는 요소인 지형에 의한 영향에서 대지 형태와 경사도는 단지의 국지기후에 큰 영향을 미치고 일사량과 바람의 유형을 결정(박대훈, 2002)할 수 있으나, 생태계로 인한 영향으로 보기 어려워 생태계서비스 지표산정에는 고려하지 않았다.

물은 토양보다 많은 양의 에너지를 저장하지만 저장된 에너지의 방출비율은 적어서 가까이에 있는 대지의 온도변화를 완화시켜 준다. 토양은 비교적 높은 반사능(albedo)을 가져서 태양열을 적게 흡수하고 많이 반사하지만, 수체(water

bodies)는 태양열을 많이 흡수하고 적게 반사하는 낮은 반사능을 가졌다. 이와 같이 물체마다 반사능의 정도에 따라 태양열의 흡수와 재복사율이 달라진다(이영무, 1991). 물체의 반사능에 따르면 수면은 3~10%의 햇빛을 반사하고 나머지는 흡수하는 현상에 의해 수체는 안정된 온도를 유지하면서 주변기후를 완화시킬 수 있다(표 III-16).

표 III-16. 물체의 반사능(albedo)

산란을 포함한 태양복사에 대한 각종 표면별 알베도율(albedo rate)	%
사질토양	15~40
초지	12~30
건물이 밀집한 지역	15~25
삼림	5~20
경작토	7~10
수면·해면	3~10

자료: 이영무, 1991, 저자 재구성

식물은 지표에 도달하는 일사량을 조절하는 역할을 한다. 즉, 그늘을 형성하여 햇빛을 막거나 반사된 복사열을 차단하게 된다. 또한 바람의 속도와 방향을 변화시키며 공기 중의 수분을 조절하기도 한다(김광우, 1988). 녹지면적이 10% 증가할 때마다 평균 최고기온은 0.9℃ 정도 감소하였다(김수봉, 2004). Huang et al.(1987)와 Profous(1992) 연구에 따르면, 수목피도 10% 증가는 여름철 온도를 0.5℃에서 1℃까지 감소시킨다. 국지적인 규모에서 녹지의 양이 녹지의 미기후완화 효과를 가장 잘 나타내고 있는 것으로 판단된다(윤용한, 2002). 이상과 같이 미기후조절에 있어서 수체, 식물 그리고 토양의 기능을 고려하여 수공간면적과 녹지공간면적을 합한 식(III-21)로 산출하였다.

$$\text{수·녹지면적} = \text{대상지내 수공간면적} + \text{녹지공간면적} \quad (\text{III-21})$$

여기서 개발 전 수·녹지면적에는 전, 답, 임야와 하천면적이 해당하고 개발 후에는 공원면적, 녹지면적과 하천면적이 해당한다.

③ 탄소저장량

탄소저장량은 기후변화를 야기하는 대표적인 온실가스인 이산화탄소를 저감하는 생태계의 기능이다. 식생과 토양은 생태적인 측면뿐만 아니라 탄소저장소로서 중요한 역할을 하고 있다. 식생은 대기 중 이산화탄소를 흡수하여 자신의 생체 및 토양에 저장함으로써 기후변화를 완화시켜 줄 수 있다. 토지이용이 개발사업에 따라 변경되면, 기존의 식생과 토양이 가지고 있는 탄소저감능에 영향을 미칠 수 있다(황상일 등, 2010). 탄소저장량이란 수목이 성장하면서 여러 해에 걸쳐 축적된 양을 의미한다(조현길, 1999). 현재 또는 예측시점까지 수목 자체가 보유하고 있는 탄소량으로 볼 수 있다. 수목이 한 해 동안 성장하면서 흡수한 탄소흡수량은 그 양이 미미하여 고려하지 않았다. 대부분의 초본식물도 매년 흡수와 분해를 반복하기 때문에 탄소저장량이 극히 소량(조현길, 1999; 이현우와 이관규, 2007)에 가까워 본 연구에서는 식생의 탄소저장량만을 산정하였다.

아울러 개발사업의 시행으로 수목이 훼손되면 수목벌채로 인하여 탄소가 대기 중으로 방출될 것으로 예측된다. 훼손수목에 의한 이산화탄소 배출량은 훼손수목에 의한 임목 폐기물 배출량⁹⁾에 탄소전환계수(0.5)를 적용하여 산정하거나, 일본의 경우 산림의 바이오매스 1톤당 이산화탄소 배출계수 1.7톤을 적용하여 산정하고(황상일과 박선환, 2011) 있다. 그러나, 수종에 대한 자료가 극히 적고 환경영향평가단계에서 평가하기에는 구체적인 자료가 부족하여 본 연구는 훼손수목에 의한 탄소배출량을 고려하지 않았다.

토양탄소는 토양내의 고상과 공극수에 유기물과 무기물의 형태로 저장된 탄소를 말하며(Parton et al., 1987), 전 지구적 탄소순환에서 장기간 안정한 상태로 탄소를 저장할 수 있는 능력이 있다. 토양의 탄소격리에 영향을 주는 인자는 토성(texture)으로 토양내 점토함량이 많을수록 토양탄소의 저장량은 높다. 즉, 점

9) 임목폐기물발생량 산정방법은 문석기 등(1998)이 제시한 지상부(줄기+가지+잎)의 발생량을 구한 다음, 이경준 등(2007)이 제시한 각 수종별 분배비를 적용하여 뿌리부분을 포함한 총 임목 폐기물 발생량을 산정한다.

지상부 중량 $W(kg) = K \times 3.14 \times (B/2)^2 \times H \times UW2 \times (1+P)$

여기서, K: 수간 형상계수(0.5), B: 수목의 흉고직경(DBH, m), H: 수목의 높이(m)

UW2: 수목별 단위체적당 중량(kg/m³), P: 지엽이 다과에 의한 보합율(0.3)

토의 토양물리적인 특성과 표면적, 그리고 종류와도 관련 있다. 그 외 토양 내 입단 (aggregate)도 탄소저장에 영향을 준다(Yoo and Wander, 2008; 황상일 등 2010).

탄소저장량은 식(Ⅲ-22)을 이용하여 산정하였다. 식생의 탄소저장량은 이관규 (2003)가 제안한 방법을 적용하였다. 수종을 교목활엽수, 교목침엽수, 관목활엽수, 그리고 관목침엽수로 단순화시키고, 교목의 경우는 평균흉고직경(DBH)을, 관목의 경우는 평균근원직경(DAG)을 적용하고 아래 식과 같은 회귀식을 이용하여 식(Ⅲ-23)와 같이 산출하였다(황상일과 박선훈, 2011). 수목의 개체수에 대하여 개발 전의 경우, 개발사업의 환경영향평가서에서 제시한 군락기준의 식생훼손면적과 훼손수목량의 자료를 이용하여 비율로써 개체수를 추정하였다. 개발 후의 경우, 대기정화조절항목의 지표인 ‘대기오염물질흡수량’ 산정 식(Ⅲ-18, Ⅲ-19, Ⅲ-20)을 이용하여 식생유형별 면적을 구하고 식생 개체수는 「조경기준」 제7조에서 제시한 조경면적 1제곱미터당 교목은 0.2주, 관목은 1.0주로 추정하였다. 이 때 관목활엽수와 관목침엽수에 대한 구분 기준이 없어 관목활엽수로 가정하고 산정하였다.

$$\text{탄소저장량} = \text{식생의 탄소저장량} + \text{토양의 탄소저장량} \quad (\text{Ⅲ-22})$$

$$\begin{aligned} \text{식생의 탄소저장량(kg/주)} = & \text{교목활엽개체수} \times A T1 + \text{교목침엽개체수} \times A T2 + \\ & \text{관목활엽개체수} \times A S1 + \text{관목침엽개체수} \times A S2 \quad (\text{Ⅲ-23}) \end{aligned}$$

여기서 $A T1$ (교목활엽수 저장량): $Y = 0.2572 DBH_{aver.}^{2.4595}$

$A T2$ (교목침엽수 저장량): $Y = 0.3510 DBH_{aver.}^{2.1436}$

$A S1$ (관목활엽수 저장량): $Y = 0.1800 DAG_{aver.}^{1.9494}$

$A S2$ (관목침엽수 저장량): $Y = 0.1608 DAG_{aver.}^{2.189}$

$DBH_{aver.}$: 평균 흉고직경(5~40cm)

$DAG_{aver.}$: 지상부 15cm의 평균근원직경(1~4cm)

토양에 의한 탄소저장량은 식(Ⅲ-24)를 이용하여 산정하였다. 탄소저장량 원단위는 개발 전에는 토지이용유형을 크게 논, 밭, 산림과 기타로 구분하고 토지유형별로 토양탄소저장량을 산정한 국립산림과학원(2006)의 원단위를 사용하였다. 개

발 후에는 기타와 신규조성녹지로 구분하였다. 신규조성녹지는 토양저장량을 제시한 원형규 등(2002)의 원단위를, 그 외 지역은 개발 전과 같이 국립산림과학원(2006)의 원단위를 사용하였다(표 Ⅲ-17).

토양의 탄소저장량(kg/m³)= 토지유형별 탄소저장량 원단위 × 토지유형면적 (Ⅲ-24)

표 Ⅲ-17. 토지유형별 토양탄소저장량 원단위

토지유형	토양 탄소저장량 원단위(kg/m ³)	비고
논	6.05 (=60.5tonC/ha)	(국립산림과학원, 2006)
밭	4.59 (=45.9tonC/ha)	
산림a*	6.79 (=67.9tonC/ha)	
기타b**	1.15 (=11.5tonC/ha)	
신규조성녹지	3.35 (=33.5tonC/ha)	(원형규 등, 2002)

* a: 낙엽층의 유기물내 탄소까지 포함, ** b: 도로, 택지 등 대부분 도시적 용도임

④ 활엽수·혼효림면적

활엽수와 혼효림면적은 식생과 식생으로 피복된 토양이 산사태와 홍수의 억제 기능을 가지고 있고, 침엽수보다 활엽수와 혼효림지역에서 이러한 억제기능이 더 크게 나타난다는 선행연구(이문세 등, 2009; 박성우, 2008)에 따라 환경영향평가서 식생자료를 이용하여 활엽수와 혼효림지역 면적을 산정하였다.

인명이나 재산에 피해를 줄 수 있는 자연현상인 재해가 어떤 지역에 한정된 시간에 걸쳐 발생하면 재난이 된다. 이러한 재해 종류에는 지진, 홍수, 산사태 등이 있다(최은영, 2010). 식생은 산사태 억제효과를 가진다. 식생이 산사태 억제기능을 충분히 가지려면 뿌리가 산사태 활동면 깊이보다 충분히 깊고 튼튼히 박혀서 보강역할을 하기 때문에(차경섭, 2006) 식생의 역할이 중요하다. 자연사면에 집중홍수가 발생할 경우, 식생들의 우산효과로 인해 실제 강우량보다 더 적은 강우량이 표토에 도달한다. 우산효과는 강우량이 증가할수록 침엽수에 비해 활엽수와 혼효림지역에서 상대적으로 더 크게 나타난다. 또한 동일한 토질조건에서 식생밀도가 높은 지역이 낮은 지역보다 빗물 침투가 상대적으로 적기 때문에 집중호우시 산사태와 같은 지반재해에 덜 취약할 수 있다(이문세 등, 2009). 낙엽층은 지표층을 피복하여 강우 시 물을 보유하여 지표수가 흐르는 것을 막는다. 반면에,

소나무림은 강우 시 빗물이 지표수로 흐르기 쉽기 때문에 소나무가 많은 지역에서 산사태가 자주 발생한다(박성우, 2008). 식생으로 피복된 토양은 많은 비가 올 때 일시적인 저장고 역할을 하여 홍수방지효과를 갖는다. 일시에 쏟아지는 빗물은 토양 표면을 유실시켜 표토에 포함되어 있는 유기물을 용탈시킴으로써 쓸모없는 토양을 남긴다. 수목으로 피복된 지역의 경우, 일차적으로 빗물에 의한 직접적인 충격을 완화시키고 이차적으로 뿌리 흡착력에 의해 토양이 유실되는 것을 막아주는 역할(산림조합중앙회, 2004)을 하게 되므로 수목과 토양은 자연재난완화기능을 가진다고 볼 수 있다.

⑤ 투수성지반면적

가뭄조절은 토양이 수분을 보유함으로써 물을 흡수하고 배출하는 생태계 역할을 의미하는데 투수성지반면적으로 산정하였다. 도시의 불투수성면적은 도시 생태계 균형파괴의 주요인이라 할 수 있어(김현수와 안근영, 2002), 생태적 도시계획을 위한 기반지표로 사용할 수 있다. 서울특별시(2004)는 우리나라 최초로 독일의 비오톱면적지표를 차용하고 서울특별시 토지피복 상태에 따른 투수정도를 계수화하여 투수성면적을 전체면적 대비 생태적 기반면적으로 산정하였다. 이것은 후에 생태면적률로 발전하였으며 환경부(2005, 2011c)는 관련 지침을 만들고 체계화하였다.

도시공간의 생태적 가치에 대한 생태면적률은 전체 개발면적 중 생태적 기능과 자연순환기능이 있는 토양면적이 차지하는 비율로 나타낸다(환경부, 2011c). 생태적 기능이 온전한 '자연지반녹지(가중치 1)'와 생태적 기능이 전무한 '포장면(가중치 0)'을 기준으로 그 사이 공간유형은 우수투수, 저장 및 지하수 함양기능, 우수의 증발산 및 냉각 기능을 포함하는 생태적 가치에 따라 가중치를 달리 부여하였다(김현수, 2006). 이러한 생태면적률 지표는 지표면과 포장면의 재질과 상태가 파악되는 실시설계단계 이후에 산정이 가능하다. 본 연구와 같이 환경영향평가가 실시되는 개발사업의 계획단계에서는 구체적인 포장면의 구성을 나타내는 설계도면이 도출되는 단계가 아니므로 생태면적률 지표를 적용하여 그 값을 산정

할 수 없는 상황이다(이관규 등 2011).

도시의 물순환에 대한 수준을 검토하기 위해 광범위한 도시 및 지역수준에서 지표면의 투수와 불투수 상태를 변수로 단순화시켜 사용하는 경향이 있다. 국내·외 연구사례들은 토양 피복표면의 투수와 불투수 상태를 측정인자로 하고 있다. 생태면적률이 60%라는 의미는 전체 사업부지내 투수성지반 면적이 전체면적의 60%를 차지하고 있고 이것은 자연지반 녹지, 공개수면 등의 면적을 모두 포함한 수치이다.

본 연구에서는 생태면적인 투수성지반면적을 측정인자로 산정하였다. 토양의 배수정도는 토성, 토지피복형태, 포장의 재질, 답압 등에 의해 달라질 수 있어 생태면적을 지침(환경부 2011c)과 선행연구에서 제시한 공간유형에 따른 가중치를 수정하여 적용하였다. 개발 전 상태는 생태면적을 지침에서 제시한 현재 상태 생태면적을 진단에 사용한 토지피복유형별 가중치를 면적산정계수로 적용하였다. 개발 후 상태는 실시설계 전의 상황이기 때문에 공간유형을 토지이용계획의 토지피복유형으로 단순화시켜 이관규(2003) 및 이우성(2011)의 연구결과와 생태면적률의 가중치(환경부 2011c)를 반영하여 표 Ⅲ-18과 같이 면적산정계수를 가중치로 설정하고 식(Ⅲ-25)과 같이 산정하였다.

$$\text{투수성지반면적}(m^2) = \sum (\text{토지피복유형별 면적} \times \text{면적산정계수}) \quad (\text{Ⅲ-25})$$

표 Ⅲ-18. 투수성지반면적 산정계수

개발 전 상태		개발 후 상태	
토지피복유형	면적산정계수*	토지피복유형	면적산정계수
물환경(습지, 석호, 공유수면 포함), 나지, 자연산림	1.0	자연지반녹지, 하천, 저수지 등 투수된 수면	1.0
생산지(논, 밭, 과수원), 초지	0.8	잔디 및 초본 등의 식재지	1.0
기타 재배지, 하우스 재배지	0.6	공원내 조성한 조경녹지, 인공연못, 인공저수지 등 차수된 수면	0.7
위락시설지역	0.3	학교, 운동장 등 투수포장지	0.3
주거지역	0.1	-	-
인공화지역(공업, 상업, 교통, 공공시설)	0.0	건물, 콘크리트포장, 아스팔트 포장 등 불투수포장지	0.0

* 면적산정계수: 이관규(2003), 이우성(2011)과 생태면적률 가중치(환경부 2011c) 반영 재가공

⑥ 수질오염정화능

자연정화조절은 자연의 힘으로 오수 등을 정화하는 생태계 기능을 의미하는데 하천과 습지의 자연친화적 정화능으로 산정하였다.

자연하천은 하천 형태와 식생에 의해서 다양한 생물의 서식처를 제공하고 있으며 수질정화기능도 가지고 있다(이경보 등, 2003). 하천에 오수가 유입되면 희석·침전되고 유기물은 화학적 또는 미생물에 의해 분해되어 청정하게 된다. 습지도 생물다양성을 보존하는 장소적 기능뿐만 아니라 수질정화와 홍수조절 기능이 있다. 습지식물 군락이 수계로 유입되는 오염물질의 부하량을 줄이고 영양염을 효과적으로 제거할 뿐만 아니라(Aoyama et al., 1986; Tripathi et al., 1991), BOD, 독성물질, 심지어 유기화합물까지 줄이는 기능을 제공한다(Cornwell et al., 1977; Lakshman, 1979; Wolverton and McDonald, 1979; Reddy et al., 1983; Kadlec, 1987; Busk et al., 1989). 또한 불특정장소에서 불특정하게 수질 오염물질을 배출하는 비점오염물질의 유출을 저감하기 위한 자연형 비점오염저감 시설인 저류시설, 인공습지, 침투시설, 식생형시설 등도 자연친화적 수질정화에 해당한다고 볼 수 있다(표 Ⅲ-19).

표 Ⅲ-19. 자연형 비점오염저감시설 종류

종류	설명
저류시설	강우유출수를 저류(貯留)하여 침전 등에 의하여 비점오염물질을 줄이는 시설로 저류지·연못 등을 포함
인공습지	침전, 여과, 흡착, 미생물 분해, 식생식물에 의한 정화 등 자연상태의 습지가 보유하고 있는 정화능력을 인위적으로 향상시켜 비점오염물질을 줄이는 시설
침투시설	강우유출수를 지하로 침투시켜 토양의 여과·흡착 작용에 따라 비점오염물질을 줄이는 시설로서 유공(有孔)포장, 침투조, 침투저류지, 침투도랑 등을 포함
식생형시설	토양의 여과·흡착 및 식물의 흡착(吸着)작용으로 비점오염물질을 줄임과 동시에, 동·식물 서식공간을 제공하면서 녹지경관으로 기능하는 시설로서 식생여과대와 식생수로 등을 포함

자료: 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙」 별표6. 비점오염저감시설 재구성
(법제처: <http://www.law.go.kr>)

본 연구는 수질오염정화능 평가에 자연하천 및 습지 면적과 자연형 비점오염저감시설 정화능을 대상으로 식(Ⅲ-26)과 같이 산정하였다.

$$\text{수질오염정화능} = \frac{(\text{하천면적} + \text{습지면적})}{\text{대상지면적}} \times \text{자연형 비점오염저감시설 효율 계수} \quad (\text{Ⅲ-26})$$

자연하천과 습지는 개수나 유무보다는 하천의 수변면적이 정화능력을 판단하는 데 더 적합하다는 자문의견을 반영하여 대상지 전체면적 대비 자연하천 수변면적과 습지의 합산면적비율을 산정하고자 하였으나, 하천 수변면적은 토지이용계획 자료를 사용하여 산정하기 어려워 하천면적으로 대체하여 산정하였다. 자연형 비점오염저감시설은 처리용량을 대상으로 수질오염정화능에 과도한 영향이 미치지 않도록 자연형 비점오염저감시설 효율을 계수로써 반영하였다. 효율계수는 대상지내 자연형 비점오염저감시설의 설치계획이 개발사업 환경영향평가서에 제시되지 않은 경우를 1로 두고 효율에 따라 차이가 나도록 1에서 2사이의 값으로 균등 배분하여 표 Ⅲ-20과 같이 계산하였다.

$$\text{자연형 비점오염저감시설 효율} = \frac{\text{자연형 비점오염저감시설 처리용량}}{\text{대상지 처리대상 강우유출량}} \quad (\text{Ⅲ-27})$$

표 Ⅲ-20. 자연형 비점오염저감시설 효율 기준

자연형 비점오염저감시설 효율	0	0.001~0.199	0.2~0.399	0.4~0.599	0.6~0.799	0.8~1
효율계수*	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2

* 자연형 비점오염저감시설 효율계수는 1에서 2사이의 값으로 효율에 따라 균등 배분

여기서 처리대상 강우유출수량(식 Ⅲ-28)은 비점오염저감시설의 설치 및 관리·운영매뉴얼(환경부, 2008)의 자료를 이용하였다

$$\text{처리대상강우유출수량}(WQ_v) = (P1) \times (A) \times 10 \quad (\text{III}-28)$$

여기서, WQ_v : 수질처리용량(Water Quality Volumn)(m^3)

$P1$: 누적유출고로 환산한 설계강우량(5mm)

A : 배수면적(ha)

⑦ 환경사지피복면적

침식조절은 토양의 침식 또는 유실을 조절하는 생태계 기능으로 경사도가 낮고 피복된 토양이 침식조절에 양호하여 환경사지피복면적으로 산정하였다.

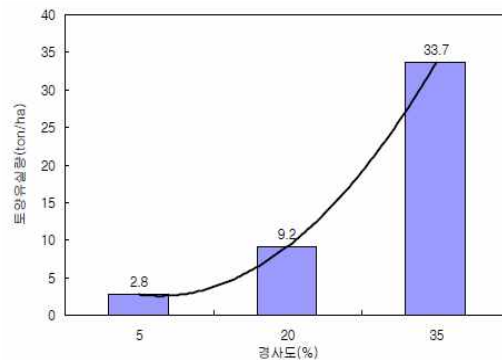
토양 침식(erosion)은 흐르는 물, 바람, 기타 지질학적 요인으로 지표면의 손실, 토양 또는 암반의 이동이나 분리되는 현상을 의미한다. 토양침식을 일으키는 기본인자는 강우이며, 강우에 대한 토양의 침투성(infiltration)과 강우나 지표 유출수에 대해 분산(dispersion)되는 성질이 토양침식에 영향을 준다. 토양유실량은 강우와 침식을 일으키는 힘에 저항하는 토양전단력과 상호작용함에 따라 결정된다(환경부, 2001). 강우가 토양에 침투되는 능력은 토양의 공극상태, 토양수분함량, 토양의 배수성 등에 따라 다르다. 물에 의한 토양의 분산작용이나 운반작용은 토양에 따라 차이가 있으며, 안정된 내수성 입단을 형성하고 있는 토양이나 식물 뿌리대가 짜임새 있게 분포되어 있는 토양이 이들 작용에 저항성이 크다. 분산작용에 대한 저항성이 큰 토양은 유출량에 비하여 유실량이 적다(김익재 등, 2007). 지표면은 피복물이 덮으면 강우로부터 토양입단을 보호하고 침식을 막아주며 피복물의 상태에 따라 강우 강도를 줄이는 역할을 한다. 또한 식생의 잎과 줄기 그리고 뿌리는 토양입단구조를 발달시키고 지표수 유속을 감소시키며 피복물의 증산으로 인한 토양건조 방지효과 등을 볼 수 있다(김익재 등, 2007).

지형특성도 토사발생량과 유출수량을 결정하는 데 있어 중요하다. 경사도는 지형의 경사에 따라 그 특성이 달라진다. Hudson(1936)과 이금삼과 조화룡(2000)은 경사지역을 경사도 5° 마다 구분하였다. 경사도 5° 이하 지역은 평탄지, 15° 에서 20° 이상 지역은 급경사지역으로 분류하였다(표 III-21).

표 Ⅲ-21. 경사도에 따른 지형의 구분

경사	Hudson, G.D.(1936)	이금삼과 조화룡(2000)
0 ~ 1°	평탄지	평탄지
1° ~ 5°		파랑성 평야
5° ~ 10°	완경사지	완경사지
10° ~ 15°	준완경사지	준완경사지
15° ~ 20°	급경사지	준급경사지
20° 이상	급준경사지	급경사지

경사가 없는 평탄지에서는 침식이 문제되지 않으나 경사가 급한 곳은 유출수 속도가 증대되기 때문에 침식량이 매우 많아진다. 경사장이 길거나 경사폭이 넓은 곳은 유출량이 집중되어 심한 침식이 일어난다(환경부, 2006). 그림 Ⅲ-1에서 경사도(%)와 토사발생량의 관계를 보면 경사도 15%(약 10°) 이상이 되면 토양유실량이 급격히 증가하는 것을 볼 수 있다.



비고 : 경사장 10m, 유효강수량 1,791mm

그림 Ⅲ-1. 경사도와 토사발생량의 관계

(환경부, 2006, 고령지발 비점오염원 최적관리를 위한 조사사업)

본 연구에서는 토지피복조건에 따라 토양유실률이 달라지므로 경사도 10° 이하인 완경사지에 대해 개발 전과 개발 후 토지이용에 따라 토양유실률에 차이를 두고(표 Ⅲ-22), 식(Ⅲ-29)와 같이 완경사지피복면적을 산정하였다.

$$\text{완경사지 피복면적} = \sum \text{경사도 } 10^\circ \text{ 이하 피복된 토지유형별 면적} \times (1 - \text{토양유실률}) \quad (\text{Ⅲ-29})$$

표 Ⅲ-22. 토지이용에 따른 토양유실률 산정기준

개발 전		개발 후	
토지이용	토양유실률	토지이용	토양유실률
논	0.06	자연지반녹지	0.01
밭	0.26	공원(조성녹지)	0.09
산림지역(임야)	0.003		
기타(나지)	1		

자료: 환경부(2004)를 반영하여 재가공

(3) 지원서비스 평가지표

인간이외 생물의 생존에 적합한 환경을 제공하는 생태계 기능으로 서식지를 제공하는 생태계서비스의 질에 대한 평가를 하였다. 서식지는 생물의 생존에 필수요건으로써 이 기능이 유지되면 공급, 조절, 문화서비스가 향상되어 지원기능을 충족할 수 있게 된다. 본 연구는 환경영향평가단계에서 개발계획을 대상으로 개발사업 전과 후의 상태에 대한 평가가 이루어지기 때문에 서식지 평가에서 흔히 사용되고 있는 목표종을 선정하고 그 목표종에 최적인 서식지 질의 평가방법 적용이 어려운 상황이다. 따라서 대상지내 전체 녹지와 수공간인 생태공간을 대상으로 공간의 구조에 대한 분석을 통해 서식지 기능을 간접적으로 도출하는 방식을 적용하였다. 서식지크기와 연결성, 그리고 질이 좋은 서식지 보존과 훼손지복구에 대한 평가를 실시하였다.

본 연구에서 적용한 서식지는 개발 전에는 토지피복도 중분류를 기준으로 논, 밭, 과수원, 활엽수림, 침엽수림, 혼효림, 자연초지와 기타초지, 내륙습지, 그리고 내륙수를 대상으로 하였다. 개발 후에는 개발사업 환경영향평가서에서 제시한 토지이용계획도를 기준으로 공원, 녹지, 저류지와 하천을 대상으로 하였다. 공원에는 근린공원, 수변공원, 소공원과 어린이공원의 모든 공원을 포함하였고, 녹지는 완충녹지, 경관녹지, 연결녹지를 모두 포함하였다.

① 서식규모의 안정성

인공구조물로 피복되지 않은 녹지와 수공간은 생물 서식이 가능하고 서식공간의 크기가 클수록 다양한 개체가 서식할 수 있어 생물의 생존에 유리하다. 서식 가능한 공간의 크기는 중요한 요소이다. 잘게 쪼개진 서식지는 간섭의 영향이 커서 안정성 측면에서 생물 생존에 불리하다. 이와 같이 서식규모의 안정성은 서식지 규모와 개별 서식지크기를 고려하였다.

본 연구는 도면상 서식지 종류별로 구분되는 서식지를 하나의 패치단위로 보고 서식지패치의 전체면적을 패치 개수로 나눈 서식지패치 평균면적을 식(Ⅲ-30)과 같이 산정하였다. 서식공간 규모에 대한 접근을 통해 서식지패치 크기와 형태 변화를 유추할 수 있고 개발 전 큰 규모의 생태공간이 있을 경우에는 개발 후 단편화 정도를 간접적으로 평가할 수 있다.

$$\text{서식규모의 안정성} = \frac{\text{서식지패치면적}(\text{m}^2)}{\text{서식지패치개수}} \quad (\text{Ⅲ-30})$$

② 서식공간의 이질성

서식지 특성이 다른 지역이 인접하여 있으면 다양한 생물종이 서식할 가능성이 높아 이질적인 서식공간이 인접한 정도에 대하여 평가하였다. 대상지 내부를 서식지조사의 기본단위인 격자(10m×10m)로 구분하고 각 기준이 되는 중심격자와 주변 8개 격자간의 서식지 특성이 차이가 나는지를 보았다. 서식공간은 개발 전에는 중분류 토지피복도, 개발 후에는 토지이용계획도에서 추출한 후 서식공간과 비서식공간으로 크게 분류하였다. 기준격자와 주변 8개 격자 중에서 특성이 다른 서식공간이 차지하는 수를 그림 Ⅲ-2와 같이 산출하였다.

서식공간의 이질도를 판단하는 서식지 종류에 대하여 개발 전의 경우에는 논, 밭, 과수원, 활엽수림, 침엽수림, 혼효림, 자연초지(기타초지 포함), 내륙습지, 그리고 내륙수(하천) 9가지를 기준으로 하였고, 개발 후의 경우에는 공원, 녹지, 저류지와 하천 4가지를 기준으로 하였다.

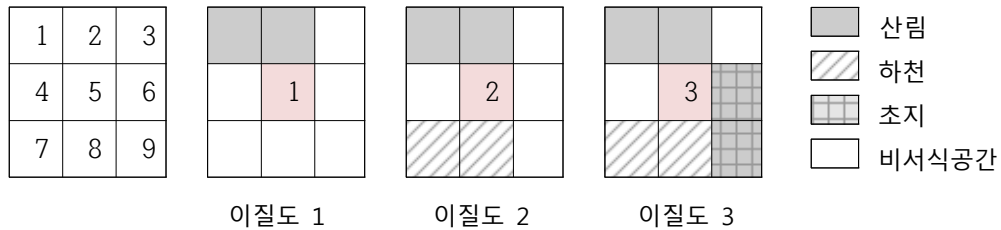


그림 Ⅲ-2. 기준격자(5번)에서 서식지의 이질정도 예시

서식공간의 이질성은 같은 이질도를 가지는 서식지면적을 구한 다음, 전체 면적에서 차지하는 비율을 계산하고 표 Ⅲ-23의 이질계수를 곱하여 식(Ⅲ-31)과 같이 산출하였다.

$$\text{서식공간의 이질성} = \sum (\text{이질도의 면적비율} \times \text{이질계수}) \quad (\text{Ⅲ-31})$$

여기서, 이질계수는 기준격자를 둘러싸고 있는 8개 격자가 모두 다른 종류의 서식공간이 있는 이질도 8부터 서식공간이 없는 이질도 0까지 가능한 경우를 모두 고려하였다. 이질도 0은 이질성이 없다는 의미이므로 이질계수를 0으로 하고, 이질도 8을 이질계수 1로 두고 이질도가 높을수록 균등한 간격으로 전문가 자문을 거쳐 이질계수를 부과하였다.

표 Ⅲ-23. 이질정도에 따른 이질계수

이질도	이질도 0	이질도 1	이질도 2	이질도 3	이질도 4	이질도 5	이질도 6	이질도 7	이질도 8
이질계수*	0	0.125	0.25	0.375	0.5	0.625	0.75	0.875	1

* 이질계수는 0에서 1사이의 값으로 이질도에 따라 균등 배분

③ 지형보전·복구면적

서식지 질에 대한 간접적인 추정방식으로 대상지내 지형보전지역과 훼손지를 복구하여 서식지 질을 개선한 지역에 대하여 평가하였다(식 Ⅲ-32).

$$\text{지형보전} \cdot \text{복구면적}(\text{m}^2) = \text{지형보전면적} + \text{훼손지 복구면적} \quad (\text{Ⅲ-32})$$

여기서, 지형보전면적은 개발 전에는 임야면적인 활엽수림, 침엽수림, 그리고 혼효림만을 대상으로 하였다. 개발 전의 토지이용형태가 논, 밭, 과수원인 경우에는 단일 종 중심의 단순한 서식지로서 자연지형을 변형한 인위적인 공간으로 간주하여 자연지형을 보전한 지역에 포함하지 않았다. 개발 후의 지형보전면적은 환경영향평가서에서 제시한 자연지역 중 원형보전의 가치가 있는 생태공간 보전 지역 면적을 대상으로 하였다. 토지이용계획에서 훼손지¹⁰⁾를 복구하여 공원·녹지 조성계획이 있는 경우에는 서식지 질의 개선 측면을 고려하여 지형보전면적에 더하여 산출하였다.

(4) 문화서비스 평가지표

문화서비스는 인간이 생태계를 인식하고 이용할 수 있도록 비물질적 편익을 제공하는 생태계 기능으로 레크리에이션(recreation), 정신적 가치(spiritual value), 심미적 감상(aesthetic enjoyment) 등이 속한다(Landsberg et al., 2011). 아름다운 자연경관이 있는 장소, 종교나 성소의 장소, 교육 장소, 여가 장소(MA, 2005)로서 서비스를 제공하여 인간이 자연에서 행하는 활동을 통해 자연의 아름다움을 느끼고 예술적인 영감을 얻으며 원기를 회복하고 활기를 되찾는데 도움을 준다. 문화서비스 평가요소는 이와 같이 미학적 아름다움과 지적, 정신적인 자극(Kellert and Wilson, 1993)을 주는 경관의 심미성과 만족감, 레크리에이션 즐거움과 여가활동의 기회제공, 그리고 교육의 기회제공으로 보고 생태계가 제공하는 무형의 가치를 구조적인 측면에서 평가하였다. 문화서비스 평가항목인 경관, 레크리에이션과 교육은 인간이 이용하는 공간에서 실제 운영프로그램에 참여하여 인지함으로써 편익이 발생하지만, 환경영향평가를 실시하는 계획단계는 세

10) 훼손지는 「개발제한구역의 지정 및 관리에 관한 특별조치법」 제4조제4항에 따라 개발제한 구역 안의 훼손된 지역으로 건축물 또는 공작물 등 각종 시설물이 밀집되어 있거나 다수 산재되어 녹지로서의 기능을 충분히 발휘하기 곤란한 곳을 말한다. 훼손지복구계획은 동법 시행령 제2조의 2에 따라 녹지로서의 기능을 회복하도록 하여야 한다.

부 운영프로그램이 마련되기 전이기 때문에 문화서비스 편익이 발생할 가능성이 있는 계획 공간에 대하여 평가하였다. 문화서비스 평가대상 공간은 개발사업 대상지내 생태공간으로 도로, 건축물과 같이 인공구조물로 피복된 지역을 제외하고 레크리에이션 활동 또는 교육행위가 가능한 공간을 대상으로 하였다.

생태계의 공간적 분포에 관계되는 현상을 밝혀내는 연구 분야로 경관생태학이 있다(이동근 등, 2005). 인간의 간섭과 영향이 두드러진 경관을 주요 연구대상으로 삼고(김명수와 안동만, 1996), 경관을 구성하는 요소간의 구조와 기능을 분석하여 경관의 가치를 평가하는데 중요한 역할을 한다.

따라서 대상지내 레크리에이션과 교육 활동공간에 대한 평가에 경관생태학적 원리를 사용하여 활동공간의 구조와 기능을 분석하였다. 경관생태학에서는 구조, 기능, 변화의 세 가지 측면에 초점을 두는 것과 마찬가지로 활동공간의 구조를 중심으로 평가하였다. 레크리에이션과 교육활동은 공간이 있어야 행위가 일어날 수 있기 때문에 이들 행위를 잠재적인 기능으로 보고 개발 전·후 시간에 따른 상태변화가 나타난다고 보았다. 평가의 기본이 되는 경관 구조는 생물이나 특정 물질 등 공간을 특징짓는 대상물의 분포패턴과 그 배경이 되는 구조적 요인을 말한다. 경관을 구성하는 요소는 패치(patch), 코리더(corridor), 매트릭스(matrix)로 구분하여 이러한 경관의 구조를 대상지에 적용하였다. 매트릭스는 대상지역 전체, 패치는 레크리에이션과 교육활동이 일어나는 생태공간, 코리더는 패치를 연결하는 도로, 보행도로 등으로 보았다. 여기서 문화서비스 평가의 중심은 실제 활동이 일어나는 공간인 패치가 된다. 경관 구조가 변하면, 생물서식공간은 고립 또는 파편화되고 자연생태계의 물질순환과 에너지 흐름이 파괴될 뿐만 아니라 경제적 가치가 줄어들고 인간의 건강이 위협받게 된다. 경관생태적 요소의 질은 경관구성요소인 패치의 크기나 면적, 연결성, 고립성, 형태 등과 같은 경관생태적 특성 항목들에 의해 좌우되므로 이들 요소의 질에 대하여 문화서비스 평가를 적용하였다.

① 경관미

생태공간에서 개발사업으로 인해 인간이 인식하는 경관 변화를 평가하였다. 개발사업에 따른 경관의 훼손을 최소화하기 위해 환경영향평가에서 사용하는 경관영향평가 방법을 준용하여 대상지내 조망점에서 보이는 자연경관의 변화정도를 평가하였다. 경관영향평가와 달리 생태계서비스의 경관미 평가는 개발사업으로 인한 경관미 향상이 목적이다. 일반적으로 도시는 건물의 영향을 크게 받아서 경관미는 건물의 높이와 폭의 차이에 따라 달라져 도시개발단지에서 경관미를 측정하는 것이 어렵지만, 경관영향평가방법의 사용이 가능하다는 전문가 자문의견에 따라 본 연구에 적용하였다.

경관미 평가자료는 개발사업의 환경영향평가서에서 제시한 개발 전과 개발 후 중경사진을 사용하였다. 개발 이후 경관이 변화하면 단지이용자뿐만 아니라 일반인에게도 그 영향이 미치기 때문에 일반인을 대상으로 단지규모의 토지이용과 거시적인 개발측면에서 평가대상을 고려하였다. 근경은 경관미에 미치는 영향이 크지만 단지이용자에게 한정되어 일반인이 받는 영향이 적고, 원경은 경관에 미치는 영향이 미미하여 중경사진을 평가에 사용하였다.

경관미는 조망점에서 보이는 자연경관이 개발로 훼손되는 정도를 개발 전 중경사진과 개발 후 시뮬레이션 사진을 이용하여 CAD상에서 구하였다. 대상지 전체 공간면적에서 도로와 건축물 등 인공구조물 면적을 제외한 하늘공간과 자연공간이 차지하는 개발 전과 개발 후 보유면적 비율의 차이를 산출하였다.

② 레크리에이션 항목과 레크리에이션 활동공간 면적

i) 레크리에이션 항목의 평가대상 추출

레크리에이션(recreation) 용어는 위락이라고 번역·이해되고 있다. 라틴어의 'racratio'에서 비롯된 것으로 '회복시키는' 또는 '새로와지는'을 뜻하다. 여기서 위락은 단순한 오락(entertainment)이 아니고 원기회복(revitalization)과 재생(recreation) 개념을 담고 있으며 어떤 종류의 활동(activity)을 지칭(김홍운, 1999)하는 것으로 볼 수 있다. 위락은 성인의 여가시간 활용과 일상영역 내에서

이루어지는 활동을 의미하며 개인과 사회에 유익하다(박석희, 2002). 유사개념으로 관광은 위락과 달리 성인에 국한되지 않고 작업시간의 할애도 가능하다는 면에서 여가와 다르고 활동을 하기 위한 프로그램과 조직화가 필요하다. 관광활동은 여가시간의 활용을 통해 개인과 사회에 유익한 면을 가지고 관광경험을 얻게 되는데 일상영역을 벗어나서 새로운 것을 추구한다는 점에서 본 연구의 범위인 단지 내에서 일어나는 활동에 해당하지 않는다.

본 연구에서 레크리에이션은 성인이 자유시간을 이용하여 대상지 공간의 일상 영역 내에서 이동하고 활동함으로써 기능성과 효과성을 가지므로 활동과 공간이 중요하다. 레크리에이션 활동에는 특정 공간을 필요로 하고 활동 목적에 따른 다양한 공간이 요구된다(한국문화관광연구원, 2008). 레크리에이션 공간은 레크리에이션 활동에서 가장 중요한 위치를 차지하는 것 중의 하나라고 볼 수 있다(김재석과 이진원, 2008). 아울러 레크리에이션 공간 개발에서 접근성이 매우 중요한 요소(최열 등, 2011; 신화경, 2000; 김광득, 1993)이므로 주거지 가까이에 위치한 공간 규모가 중요하다고 볼 수 있다. 또한 Fromm은 ‘여가수용력(leisure carrying capacity)’ 개념을 제시하였다. 현대사회에서 레크리에이션 활동을 담을 수 있는 공간의 질적·양적 측면을 강조(윤희정과 임승빈, 2006)한 것으로 볼 수 있다. 레크리에이션은 활동범위에 따라 집안 또는 건물 내에서 이루어지는 옥내레크리에이션과 외부에서 이루어지는 옥외레크리에이션으로 구분한다. 옥외 활동이 옥내보다 더 넓은 공간과 자원요소를 필요로 한다.

따라서 레크리에이션 이론을 통해 본 문화서비스 평가에서 평가할 내용을 종합해 보면, 성인이 여가시간을 활용하여 일상영역 내에서 이동하고 활동이 이루어지는 대상지내 생태공간이 된다. 이러한 레크리에이션 공간은 전체 규모, 다양한 크기, 근접성이 변수가 될 수 있고 이들의 평가에 전문가 자문을 거쳐 경관생태학적 특성항목을 접목하고 분석하였다.

ii) 레크리에이션 항목의 평가대상 선정

평가대상인 레크리에이션 공간을 대상지 경계 내부로 범위를 정하고, 일상생

활에서 근접성 측면을 고려하여 대지경계로부터 일정거리 이내에 있는 공간으로 한정하였다. 여기서 일정거리는 「도시공원 및 녹지에 관한 법률」 제15조에 도시생활권의 기반이 되는 생활권공원 가운데 근린 거주자와 근린생활권으로 구성된 지역생활권 거주자의 보건·휴양 및 정서생활 향상에 이바지하기 위하여 설치하는 근린공원을 기준으로 동법 시행규칙 제6조에 의한 근린생활권 근린공원의 유치거리인 500미터로 하였다.

개발 전 레크리에이션 공간은 토지피복도 중분류에서 대지경계로부터 500미터 이내에 있는 임야내 소로와 하천으로 하였다. 논, 밭, 과수원은 오픈스페이스이지만 사람이 접근하고 활용할 수 있는 여가공간보다 일하는 공간으로 보아 제외하였다. 임야에서는 사람들이 이용할 수 있는 소로를 대상으로 하였다. 소로의 폭은 「산림문화휴양에 관한 법률 시행령」 제7조제1항 별표 1의2에서 산책로, 탐방로, 등산로 등 숲길의 폭은 1미터 50센티미터 이하로 규정하였기에 이를 적용하였다. 개발 후 레크리에이션 공간은 개발사업 환경영향평가서의 토지이용계획도에서 주거지인 공동주택, 단독주택, 연립주택 등의 경계로부터 500미터 이내에 있는 생태공간을 포함하고 있는 오픈스페이스 지역으로 하였다. 구체적으로 근린공원, 수변공원, 소공원, 어린이공원, 훼손지복구용지, 완충녹지, 경관녹지, 연결녹지, 저류지, 공공공지, 광장, 보행자전용도로, 그리고 하천으로 하였다. 토지이용계획도상의 문화시설과 복합커뮤니티센터는 생태계가 서비스를 제공하는 공간이 아니라 인공시설물이므로 제외하였다.

레크리에이션 공간에 대하여 공간의 면적, 공간의 분포 그리고 규모와 형태의 다양한 정도를 평가하였다.

iii) 레크리에이션 공간면적

레크리에이션 활동공간의 규모에 대하여 패치의 면적을 산출하였다. 경관생태학에서 보는 종-면적의 관계를 종 대신에 레크리에이션 활동으로 변경하고 레크리에이션 활동-면적의 관계로 대입하였다. 활동공간인 패치의 크기가 클수록 패치 내에서 활동이 일어날 가능성이 높아지고 활동을 하는 사람들이 서로 연합하

여 보다 다양한 활동을 할 수 있으므로 활동공간의 규모는 중요하다고 보았다.

개발 전과 개발 후 대상지내 레크리에이션 활동공간인 패치의 면적은 GIS에서 산출하였다.

③ 분산도

레크리에이션 활동을 수용할 수 있는 공간이 주변에 있는 경우, 그 활동을 보다 더 촉진할 수 있음을 기회이론에서 나타나고 있어(김재석과 이진원, 2008) 레크리에이션 활동공간의 분포에 대하여 평가하였다. 활동공간의 패치형태는 경관생태학의 가장자리 효과에 따라 패치내부로 침투하는 넓이에 영향을 주고, 주변 매트릭스와 상호작용을 파악하는데 중요한 요소인 점에 착안하였다. 패치의 공간분포형태에 따라 레크리에이션 활동이 차이가 난다고 보고 공간의 분산도를 평가하였다. 패치 형태가 한 곳에 밀집된 것보다 대상지 전 지역에서 주거지와 인접하여 분산된 것이 레크리에이션 공간의 활용성이 높다고 보고 식(Ⅲ-33)과 같이 패치의 분산도로 산출하였다.

$$Rc = 2dc \frac{\lambda}{\pi} \quad (\text{Ⅲ-33})$$

여기서, Rc는 패치의 분산도, dc는 각 패치에서 가장 가까운 패치까지 거리의 평균, λ 는 패치의 밀도를 의미하며 10km²당 패치의 수로 산정하였다.

패치의 분산도(dispersion of patch)(Forman and Godron, 1986)에서 가장 가까운 패치까지 거리는 가장 인접한 각 패치의 중심부터 중심까지 거리이며 GIS를 이용하여 분석하였다. 패치 분산도 값이 무작위적으로 분포하는 패치는 Rc=1, 한 지점에 집중된 패치는 Rc<1, 규칙적으로 분포하는 패치는 Rc>1, 한 지점에 모든 패치가 모여 있는 경우에는 가장 가까운 패치까지 거리가 0이 되어 Rc=0가 된다. Rc의 최대값은 균등하게 육각형으로 배치될 때 2.149이다(Clark and Evans, 1954; Pielou, 1977; Forman and Gordon, 1986; 김명수와 안동만, 1996).

④ 다양성

레크리에이션 활동공간의 규모와 형태의 다양한 정도에 대하여 평가하였다. 도시민의 휴식과 여가를 위한 공간의 중요성이 커지고 있고 거리적, 시간적으로 쉽게 접근할 수 있는 근린주구의 공원을 통하여 여가만족도가 높아진다. 거주자들에게 최소한의 운동, 휴식, 놀이, 경관 등의 다양한 목적으로 공간을 제공할 필요가 있다(김용운, 2011). Poudyal et al.(2009)은 주민들이 레크리에이션 공간으로 공원의 크기와 근접성을 비교하여 주거위치를 선택하고 있다고 미국 버지니아 시 Roanoke를 대상으로 한 연구에서 밝혔다. 이것은 주거지 인근에 있는 소규모의 도시공원도 레크리에이션 공간으로서 큰 부동산 가치를 지니고 있어 대규모뿐만 아니라 소규모 공간도 가치를 지니고 있음을 보여주고 있다. 레크리에이션 활동은 일률적인 것보다 큰 공간과 작은 크기의 공간이 어우러져 있으면 더 다양한 활동을 할 수 있는 가능성이 높다. 앞에서 한정된 레크리에이션 공간인 패치 크기에 따라 「도시공원 및 녹지 등에 관한 법률」 시행규칙 제6조에서 구분한 도시공원 규모의 기준을 적용하여 소공원급 1500㎡ 미만, 어린이공원급 1500㎡ 이상부터 10000㎡ 미만, 그리고 근린공원급 10000㎡ 이상 3그룹으로 구분하였다.

대상지 전체에서 각 공간그룹이 차지하는 개수를 비율로 산출하였다. 3개 공간규모가 차지하는 비율의 합은 1이다. 분산은 변수의 흩어진 정도를 계산하는 지표이다. 분산의 제곱근인 표준편차(식 Ⅲ-34)는 어떤 변수를 그 평균값 중심으로 보았을 때 각 관측값이 평균적으로 어느 정도 평균값에서 벗어나 있는지를 계산한 것이므로 각 공간분포의 균등한 정도를 나타낼 수 있다. 활동공간의 크기가 고루 분포되어 있는 것이 좋은 상태를 의미하므로 표준편차가 작은 것이 좋다. 이 경우 작은 값이 더 좋은 상태를 나타낸다.

$$\text{활동공간의 표준편차} = \sqrt{\text{분산}} \quad (\text{Ⅲ-34})$$

$$\text{활동공간의 분산} = \frac{(a - \frac{1}{3})^2 + (b - \frac{1}{3})^2 + (c - \frac{1}{3})^2}{3} \quad (\text{Ⅲ-35})$$

여기서, a,b,c는 각 공간규모별 차지하고 있는 비율, 그 합은 1이다($a+b+c=1$).

a=소공원급 개수/전체 레크리에이션 활동공간 개수

b=어린이공원급 개수/전체 레크리에이션 활동공간 개수

c=근린공원급 개수/전체 레크리에이션 활동공간 개수

레크리에이션 활동공간의 다양성은 지표 값이 큰 값이 좋도록 나타내기 위해 1에서 표준편차를 뺀 값으로 식(Ⅲ-36)과 같이 다양성을 산출하였다.

$$\text{활동공간 규모의 다양성} = 1 - \text{활동공간의 표준편차} \quad (\text{Ⅲ-36})$$

⑤ 교육항목과 근접성

i) 교육항목의 평가대상 추출

문화서비스의 교육에 대한 선행연구에서 제시하는 정의와 환경교육 이론을 살펴보고 교육항목의 평가방향을 설정하였다. 먼저 생태계서비스 관점에서 교육 서비스 정의에 대하여 MA(2005)는 교육의 장소로 서비스를 제공하고, De Groot et al.(2010)은 공식 또는 비공식적 교육과 훈련을 위한 교육과 과학의 기회를 제공하며, Landsberg et al.(2011)은 교육적 영감을 주는 가치로 제시하고 있다. 이를 종합하면, 교육적 영감을 주고 교육 기회를 제공하는 교육의 장소와 교육의 행위가 중요하다는 것을 알 수 있다.

환경교육의 이론적 측면을 살펴보면, 교육 목표에 대한 트빌리시선언¹¹⁾에서는 인류가 생물학적, 지리적, 사회적, 경제적 및 문화적 제 요소들 간의 복잡한 상호 관련성을 이해하고 환경문제를 발견하고 해결하며, 환경의 질을 관리할 수 있는 지식, 가치관, 태도 및 기능을 습득하게 하는 것이라고 하였다. 이를 달성하기 위한 목표로 베오그라드현장¹²⁾에서 인식(awareness), 태도(attitude), 지식

11) 1977년 유네스코가 주최한 (구)소련 트빌리시의 '환경교육에 관한 정부간 회의'에서 환경교육의 목적에 대한 '트빌리시선언'이 채택되었다.

12) 환경교육에 대한 대규모 국제모임으로 1975년 유고슬라비아의 베오그라드(Belograd)에서 개최된 국제환경교육 워크샵에서 '베오그라드현장'이 채택되었으며 환경교육의 철학적 기초와 인간상호간의 관계 등을 밝히고 있음. 베오그라드 현장은 환경교육의 중요성을 언급하고 구체적인 실천을 위한 지침들을 담고 있다.

(knowledge), 기능(skills), 참여(participation)를 제시하고 있다. 환경교육의 목표를 고려한 평가가능 영역을 살펴보면, 환경문제를 인식하고 환경개선에 능동적으로 참여하려는 동기를 가지고 생태계의 기본원리를 파악하기 위해 다양하고 풍부한 자연환경이 있는지, 환경에 대한 다양한 경험과 기본적인 이해를 얻기 위해 학교와 현장학습자원과의 연계학습이 가능한지, 환경문제를 발견하고 관찰이 가능한 장소가 있는지, 그리고 학교 인근에 참여할 수 있는 기회가 제공 가능한지 등에 대해 평가할 수 있다(송영근과 양병이, 1998). 이를 요약하면 대상지역내에 환경교육적 기능을 잘 수행하고 환경교육적 경험을 제공할 수 있는 여건과 공간의 조성 및 잠재력이 중요하다고 볼 수 있다. 즉, 교육활동에는 학교와 학교인근의 학습공간을 필요로 하고 교육공간이 가까이 있으면 이용자의 참여기회가 커지므로 가까이 있는 공간의 규모가 중요하다. 또한 교육적 가치는 자연환경이 다양하고 풍부할수록, 잠재적인 교육자료가 풍부할수록 커지므로 특성이 다른 다양한 종류의 공간 또한 중요하다.

이와 같은 교육행위가 일어날 수 있는 공간의 평가에 대한 전문가 자문을 거쳐 앞에서 살펴본 레크리에이션 지표와 같이 경관생태학적 원리를 적용하고 GIS를 사용하여 교육공간인 패치에 대하여 평가하였다.

ii) 교육항목의 평가대상 선정

평가대상인 교육공간은 대상지 경계 내부의 학교경계를 기준으로 학교와 일정 거리 이내에 있는 생태공간으로 한정하였다. 여기서 일정거리는 「도시공원 및 녹지에 관한 법률」 제15조에 어린이공원을 기준으로 동법 시행규칙 제6조에 의한 생활권공원의 어린이공원 유치거리인 250미터로 하였다.

개발 전 교육공간은 토지피복도 중분류에서 학교경계로부터 250미터 이내에 있는 녹지와 수공간으로 활엽수림, 침엽수림과 혼효림의 산림, 논, 밭, 과수원의 경작지, 자연초지와 기타초지의 초지, 그리고 하천과 습지가 해당된다. 개발 후 교육공간은 개발사업 환경영향평가서에서 제시한 토지이용계획도의 학교경계를 기준으로 차량도로와 건축물을 제외한 250미터 이내 녹지와 수공간으로 근린공

원, 수변공원, 소공원, 어린이공원의 공원, 완충녹지, 경관녹지, 연결녹지의 녹지, 그리고 저류지와 하천으로 하였다.

iii) 교육공간의 근접성

개발 전과 개발 후 대상지내 학교 인근에 있는 교육공간인 패치 면적은 GIS를 이용하여 산출하였다. 교육공간 크기와 패치연결성 측면에서 패치크기가 클수록 패치 내에서 교육행위가 일어날 가능성이 높아진다. 교육의 중심 거점은 학교이고 학교와 가까운 공간에서 교육행위가 많이 일어날 수 있어서 학교와 일정거리 이내에 존재하는 교육공간 면적을 근접성 지표로 측정하였다.

⑥ 잠재성

교육대상자가 다양하고 풍부한 자연환경을 접할 경우, 생태계 원리를 파악하고 직접 참여 관찰이 가능하여 교육적 가치가 높다고 볼 수 있다. 외부공간인 자연환경에서 피교육자인 아이들은 흙과 모래, 나뭇잎 또는 잔가지들을 자유롭게 구하여 사용한 활동들을 통해 얻은 기억을 유년기 기억으로 가장 오래 간직(Marcus, 1992)하고 있었다. 아동기는 에너지가 왕성하고 운동기능이 활발한 시기이므로 정규학습 이외 운동과 놀이 등을 하며 에너지를 분출할 수 있는 장소로써 도심지에 위치한 학교의 외부공간이 되고 있다(권민성, 2010). 대다수 성인들은 어린시절 동안 정서적으로 중요하다고 생각되는 것을 외부공간에서 발견했다고(Kahn and Kellert, 2002)하므로 그 가치가 높다고 할 수 있다.

다양한 교육공간을 제공한다는 측면에서 대상지내 특성이 다른 교육공간의 종류를 개수로 산출하였다. 개발 전 교육공간 종류는 논, 밭, 과수원, 활엽수림, 침엽수림, 혼효림, 자연초지와 기타초지, 습지, 하천의 9가지이고, 개발 후 교육공간 종류는 공원, 녹지, 저류지와 유수지, 하천의 4가지로 구분하였다.

3) 평가단위 및 표준화

생태계서비스 평가는 개발사업 전과 후의 상태를 비교할 수 있고 상태변화가 부정적인지, 현상유지인지, 긍정적인지 쉽게 판별이 가능하면 향후 개발사업의 방향성을 확보할 수 있어야 한다. 이를 위해 평가지표 산정 값이 일정범위 이내 값을 가지고 정량적 평가를 통해 대상지 또는 사업별 비교가 된다면 지표값을 해석할 수 있게 된다. 본 연구에서 제시한 생태계서비스 평가지표는 양, 면적, 비율 등 지표 특성에 따라 단위가 다르고, 그 산정 값의 범위 또한 다양하여 평가점수로 활용하기 위해 표준화된 값으로 변환이 필요하다.

본 연구는 개발 전과 개발 후 상태변화를 알 수 있는 방법으로 전·후평가를 하였다(식 III-37). 전·후평가는 개발 전 상태를 기준으로 개발 후 생태계서비스에 미치는 긍정적 또는 부정적 영향 정도를 비율로 나타내어 지표별 평가값의 미세한 차이를 나타낸다. 그러나 일정범위를 넘어서는 지표값이 있을 경우 그 값이 전체 평가에 미치는 영향력이 과도하여 종합평가에 사용하기 어렵다.

$$\text{전·후평가} = (B - A) / A \quad (\text{III-37})$$

여기서, A : 개발 전 지표 산정값

B : 개발 후 지표 산정값

Z-score는 지표값의 표준화에 가장 많이 사용되고 있는 방법이다. 자료 수치가 평균으로부터 표준편차의 몇 배 정도나 떨어져 있는지는 평균과 표준편차를 사용하여 표준화된 확률변수인 Z값으로 나타낸다. 측정치 X 와 평균치 M 과의 차를 표준편차(SD)로 나눈 수이다(식 III-39).

$$Z\text{-score} = D - C \quad (\text{III-38})$$

$$\text{여기서, } Z\text{-score} = \frac{X - M(\text{평균치})}{SD(\text{표준편차})} \quad (\text{III-39})$$

C : 개발 전 지표 산정 값의 Z-score

D : 개발 후 지표 산정 값의 Z-score

Z-score를 통해 지표별 평가값이 예상을 크게 벗어나는 경우 그 지표의 영향을 줄여 줄 수 있으며, 각 지표 값의 차이도 반영할 수 있다.

스케일재조정은 표준편차보다 지표의 최대값과 최소값 사이 범위에 기반을 둔 변환방법이다. 통계적 계산이 다소 복잡하지만 구간정보를 보유하고 구간 데이터를 유지시키는 기법들 가운데 예기치 않은 결과값으로부터 영향을 적게 받도록 하는 것이다. 스케일재조정은 지표의 전·후평가값에 따라 다음 3가지 경우로 나누어 계산하였다(식 III-40 ~ 식 III-42).

지표의 전·후평가값>0인 경우, E=1,

$$IS = E \times \frac{(X - X_{\min})}{(X_{\max} - X_{\min})} \quad (\text{III-40})$$

지표의 전·후평가값<0인 경우, E=-1,

$$IS = E \times \frac{(X_{\max} - X)}{(X_{\max} - X_{\min})} \quad (\text{III-41})$$

지표의 전·후평가값=0, E=0

$$IS = E \quad (\text{III-42})$$

여기서, IS : 각 지표의 전·후평가 점수, E는 상수

X : 지표의 전·후평가값

X_{\max} : 지표 전·후평가의 최대값

X_{\min} : 지표 전·후평가의 최소값

스케일재조정을 통한 표준화방법은 지표별 결과값이 표준 범위를 크게 벗어나는 경우 그 결과값의 영향을 제거할 수 있어 종합평가가 가능하지만 모든 평가값을 일정범위 이내로 한정시켜 지표 값의 범위 차이가 큰 경우와 작은 경우를 구별하지 못하는 단점도 있다.

전·후평가의 로그화는 개발 전과 개발 후 상태변화 차이를 나타내는 전·후평가값에 로그함수를 취하여 지표의 전·후평가값 차이를 조정할 수 있다(식 Ⅲ-43).

$$\text{전·후평가의 로그화} = E \times \log(|(B-A)/A| + \delta) \quad (\text{Ⅲ-43})$$

여기서, A : 개발 전 지표 산정값

B : 개발 후 지표 산정값

E : 상수 (전·후평가값>0인 경우, $E=1$, 전·후평가값<0인 경우, $E=-1$, 전·후평가값=0, $E=0$)

δ : 상수 (+1, 로그값이 음수일 경우 전·후평가 로그값이 왜곡되므로 양수로 나타내기 위해서 로그를 취하는 전·후평가 절대값에 +1을 함)

전·후평가의 로그화는 지표별 평가값에 차이나는 부분을 최대한 나타내고 있다. 예기치 않은 결과값이 있을 경우에는 전문가 자문결과에 따라 전·후평가 로그값의 최대값을 임의로 한정하여 그 값을 보정함으로써 다른 지표에 미치는 영향을 줄일 수 있다.

4. 택지개발사업에서의 생태계서비스 평가모형 개발

1) 생태계서비스 평가지표의 가중치

본 연구의 평가지표들은 서비스 유형으로 계층화되어 있고 전문가 조사에 기반하는 측면에서 AHP를 사용하여 개별지표의 가중치를 도출하였다. 생태계서비스 평가에서 위계에 따라 AHP분석에 사용한 항목은 그림 Ⅲ-3과 같다.



그림 Ⅲ-3. 생태계서비스 평가 위계도

평가지표의 가중치 산정에 사용된 위계도는 2단계로 구성되어 있다. 여기서 1단계는 공급, 조절, 지원, 그리고 문화서비스의 각 평가지표에 대하여, 2단계는 서비스 유형에 대한 것이다. AHP기법을 적용한 전문가 설문조사는 1차 조사에서 32부, 2차 조사에서 35부를 회수하였다. 본 설문에 참여한 전문가 현황은 표 Ⅲ-24와 같다.

표 Ⅲ-24. AHP 설문에 참여한 전문가 현황

1차	전공분야	계	조경	환경	생태	건설	도시	기타
		32	3	13	8	2	4	2
	경력	계	5년미만	5~10년	11~15년	16~20년	21년이상	
		32	0	7	5	9	11	
	종사기관	계	정부	연구소	교육기관	민간기업	기타	
		32	5	14	4	9	0	
2차	전공분야	계	조경	환경	생태	건설	도시	기타
		35	3	13	12	1	5	1
	경력	계	5년미만	5~10년	11~15년	16~20년	21년이상	
		35	1	6	4	12	12	
	종사기관	계	정부	연구소	교육기관	민간기업	기타	
		35	5	15	7	8	0	

회수된 설문지에 대하여 지표 항목수의 차이에 따라 일관성이 달라질 수 있다고 판단하여 서비스별, 그리고 각 서비스의 지표별 응답에 대한 비일관성 비율을 산출하였다. 1차 AHP 설문에서는 비일관성비율 0.2이하인 설문부수를 분석하였다. 비일관성 비율이 0.2이하이면 수용할 수는 있으나 합리적인 일관성을 갖기에 부족하다고 판단하여 1차 연구결과에서 도출된 가중치의 검증 차원에서 1차 AHP 결과를 제시하여 2차 AHP 설문을 동일한 방법으로 실시하였다. 2차 AHP 설문에서는 비일관성 비율 0.1이하인 자료만 분석에 활용하였다(표 Ⅲ-25).

표 Ⅲ-25. AHP 분석에 활용한 설문부수

구 분		서비스별	공급	조절	지원	문화
지표 항목 수		4	4	7	3	6
1차	비일관성비율 0.2 이하인 설문부수	25	25	21	31	22
2차	비일관성비율 0.1 이하인 설문부수	21	20	19	26	19

AHP 분석 결과 생태계서비스 유형에 속한 평가지표별, 그리고 서비스 유형별 상대적 중요도를 가중치로 도출하였다(표 Ⅲ-26).

표 Ⅲ-26. 중요도 산정결과

평가지표	평가지표가중치 (1단계)		서비스 유형	서비스 가중치 (2단계)		종합가중치 (C=A×B)	중요도*
	1차	2차(B)		1차	2차(A)		
총계	1	1		1	1		
소계	1	1	공급	0.258	0.262		
농산물생산량	0.238	0.239				0.063	5
침투량	0.136	0.123				0.032	14
식물현존량	0.203	0.217				0.057	6
생태1·2등급 권역	0.424	0.420				0.110	2
소계	1	1	조절	0.394	0.374		
대기오염물질흡수량	0.132	0.138				0.052	9
수·녹지면적	0.139	0.133				0.050	10
탄소저장량	0.202	0.201				0.075	3
활엽수·혼효림면적	0.175	0.146				0.055	8
투수성지반면적	0.122	0.148				0.055	7
수질오염정화능	0.126	0.126				0.047	11
완경사지피복면적	0.104	0.108				0.040	13
소계	1	1	지원	0.233	0.227		
서식규모의 안정성	0.653	0.534				0.121	1
서식공간의 이질성	0.156	0.186				0.042	12
지형보전·복구면적	0.190	0.280				0.064	4
소계	1	1	문화	0.115	0.136		
경관미	0.218	0.183				0.025	16
레크리에이션활동공간면적	0.158	0.152				0.021	18
분산도	0.138	0.143				0.019	20
다양성	0.145	0.146				0.020	19
근접성	0.208	0.206				0.028	15
잠재성	0.134	0.170				0.023	17

* 중요도는 종합가중치가 높은 지표 순서로 1부터 20까지 순위를 부여한 것임

각 생태계서비스 평가지표가 가지는 중요도를 보기 위하여 위계 수준별로 구한 1단계 가중치와 2단계 가중치를 곱하여 종합가중치를 도출하였다. 1차와 2차 AHP 설문결과 차이가 있는 부분은 종합가중치로 비교하였다(그림 Ⅲ-4).

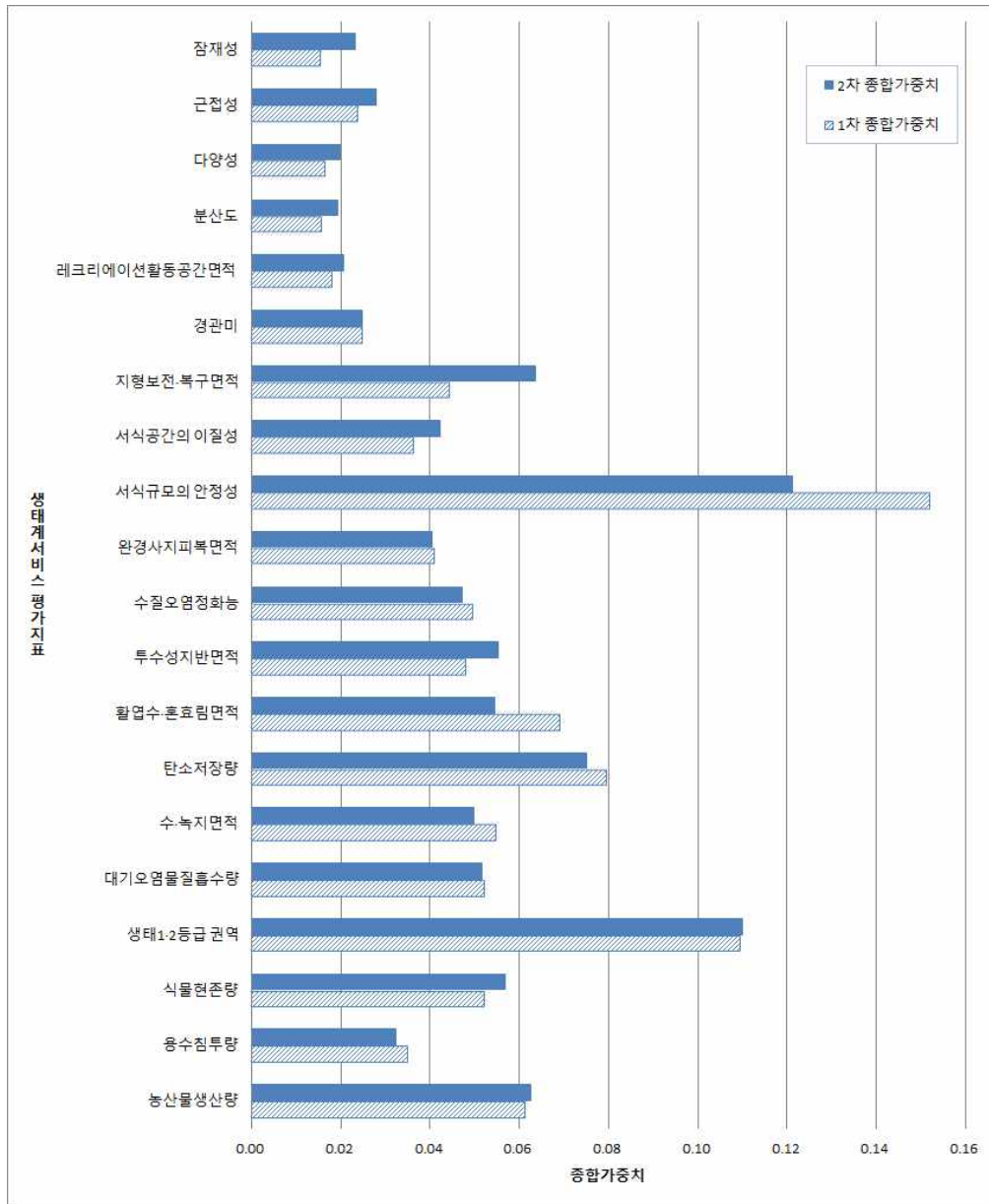


그림 Ⅲ-4. 생태계서비스 평가지표 중요도 비교

1, 2차에 걸친 반복된 AHP 설문으로 일부 지표에서 중요도 변화가 미미하게 나타났으나 중요도 순서나 경향의 차이는 보이지 않았다. 2차 조사에서 가중치가 증가한 지표는 지형보전·복구면적, 투수성지반면적, 잠재성 등이었다. 가중치가 감소한 지표는 활엽수·혼효림면적, 수·녹지면적 등이었다.

생태계서비스 평가모형에는 전문가의 검증을 추가로 거친 2차 결과를 적용하였다. 가중치가 가장 높은 지표는 서식규모의 안정성(지원서비스)이었다. 그 다음 생태1·2등급권역(공급서비스), 탄소저장량(조절서비스), 지형보전·복구면적(지원서비스) 순이었다. 가중치가 가장 낮은 지표는 분산도였고, 뒤이어 다양성, 레크리에이션활동공간면적, 잠재성 순으로 대부분 문화서비스에 속한 지표들이었다.

생태계서비스 유형별 평가지표가 각 평가에 미치는 영향은 그림 Ⅲ-5와 같다.

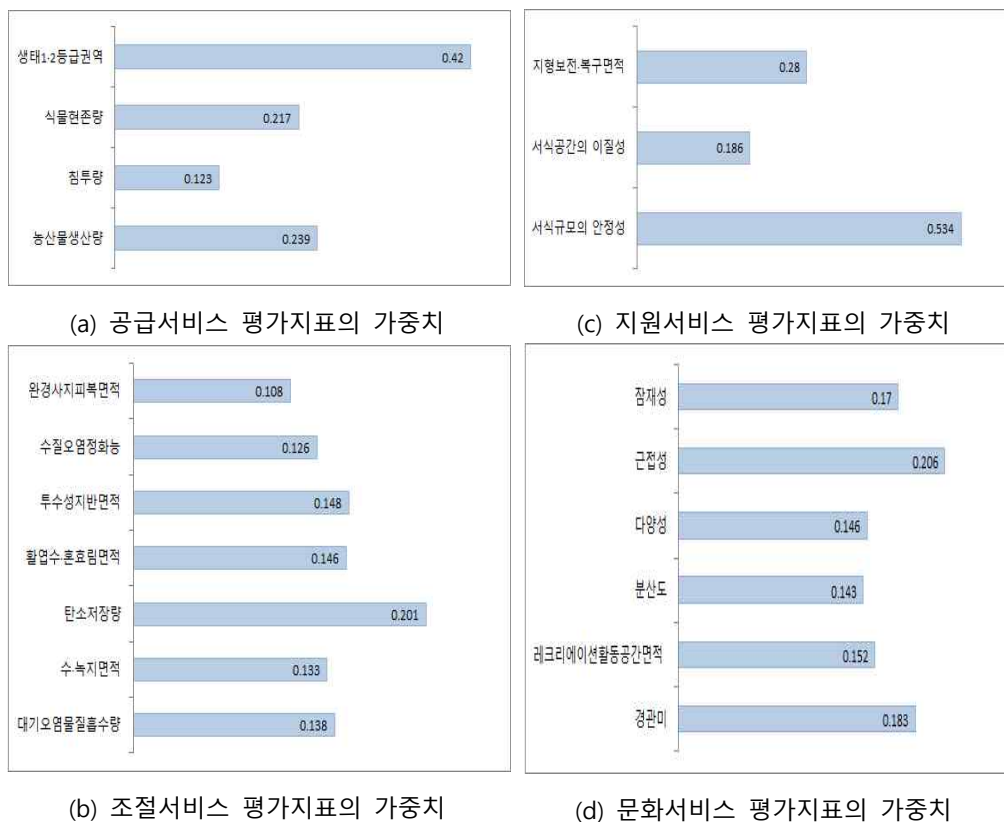


그림 Ⅲ-5. 생태계서비스 유형별 평가지표의 가중치(1단계)

공급서비스는 평가지표 간에 가중치 차이가 뚜렷하게 나타났다. 생태1·2등급 권역(0.42) 지표가 가장 높았고, 농산물생산량과 식물현존량 가중치는 생태1·2등급권역의 절반정도였다. 침투량은 공급서비스 가운데 가중치가 가장 낮았다. 조절 서비스는 탄소저장량(0.201) 지표 가중치가 가장 높았고 그 외 지표 가중치는 탄소저장량의 2/3 정도였다. 지원서비스는 서식규모의 안정성(0.534) 지표가 특히 높았으며, 지형보전·복구면적과 서식공간의 이질성은 각각 서식규모의 안정성 지표의 1/2과 1/3 정도로 가중치가 낮았다. 문화서비스는 지표 간에 가중치 수준이 비슷하였으며 전반적으로 가중치가 낮았다. 근접성이 약간 높았으나 다른 지표와의 차이는 크지 않았다.

생태계서비스 유형에 따른 가중치는, 조절서비스(0.374)가 높았고(그림 Ⅲ-6), 뒤이어 공급서비스(0.262)와 지원서비스(0.227)였으며 문화서비스(0.136)는 낮았다. 즉, 조절서비스를 1이라 가정하면 공급서비스는 0.7, 지원서비스는 0.6에 해당하고 문화서비스는 0.4에 불과한 것으로 나타났다.

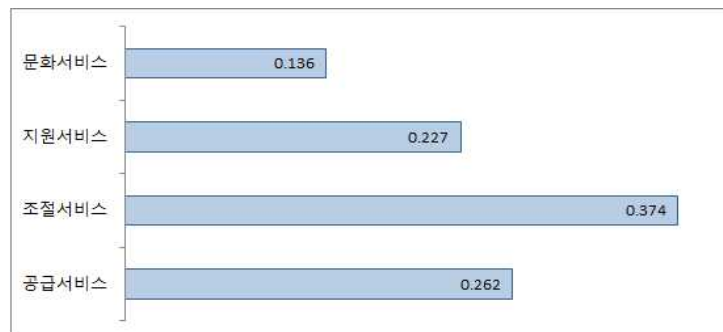


그림 Ⅲ-6. 생태계서비스 유형별 가중치(2단계)

2) 생태계서비스 평가모형

이상의 결과를 종합하여 생태계서비스 평가지표에 가중치를 적용한 생태계서비스 유형별 평가 산정식은 아래와 같다(식 Ⅲ-44~식 Ⅲ-47).

$$(1) \text{공급서비스 평가} = 0.239 \times \text{농산물 생산량} + 0.123 \times \text{침투량} + 0.217 \times \text{식물 현존량} \\ + 0.420 \times \text{생태1·2등급권역} \quad (\text{III-44})$$

$$(2) \text{조절서비스 평가} = 0.138 \times \text{대기오염물질흡수량} + 0.133 \times \text{수·녹지면적} + 0.201 \\ \times \text{탄소저장량} + 0.146 \times \text{활엽수·혼효림면적} + 0.148 \times \text{투수성지반} \\ \text{면적} + 0.126 \times \text{수질오염정화능} + 0.108 \times \text{환경사지피복면적} (\text{III-45})$$

$$(3) \text{지원서비스 평가} = 0.534 \times \text{서식규모의 안정성} + 0.186 \times \text{서식공간의 이질성} + \\ 0.280 \times \text{지형보전·복구면적} \quad (\text{III-46})$$

$$(4) \text{문화서비스 평가} = 0.183 \times \text{경관미} + 0.152 \times \text{레크리에이션활동공간면적} + 0.143 \\ \times \text{분산도} + 0.146 \times \text{다양성} + 0.206 \times \text{근접성} + 0.170 \times \text{잠재성} (\text{III-47})$$

개발사업에 따른 생태계서비스 평가모형은 각 서비스별 평가값에 가중치를 부여하고 모두 합한 다음 식(III-48)으로 나타낼 수 있었다.

$\text{생태계서비스 평가모형} = 0.262 \times \text{공급서비스 평가} + 0.374 \times \text{조절서비스 평가} \\ + 0.227 \times \text{지원서비스 평가} + 0.136 \times \text{문화서비스 평가} \quad (\text{III-48})$

3) 생태계서비스 평가모형의 효용성

본 평가모형은 개발계획에 대한 생태계의 구조와 기능을 평가함에 있어서 다음과 같은 효용성을 갖는다. 첫째, 개발사업을 대상으로 생태계 기능에 대한 평가요소와 평가체계를 개발하여 생태계가 인간에게 제공하는 혜택을 평가할 수 있게 하였다. 둘째, 개발사업의 시행으로 인한 생태계서비스 상태변화를 전·후평가함으로써 개발사업이 생태계에 미치는 영향을 분석할 수 있도록 구조화하였으며 생태계서비스 증감요인을 용이하게 파악할 수 있도록 하였다. 셋째, 개발에 따른 생태계서비스 감소분을 감안하여 개발 후 평가단계에서는 일률적인 평가기준을 적용하지 않고 대상지별 특성을 반영하여 차등기준을 적용할 수 있게 하였다. 넷째, 평가모형을 개발사업의 환경영향평가단계에서부터 적용할 수 있도록 하여 향후 생태계서비스 증진을 도모하는 개발사업에 활용할 수 있도록 하였다.

IV. 생태계서비스 평가모형 적용

1. 사례적용 사업단지의 개황

1) 사례대상지역의 선정

본 연구의 사례대상사업은 도시근교에 입지하여 생태적으로 취약한 보금자리 주택사업이다. 대상지구 간에 사업규모와 토지이용현황의 주요 특성들이 차이나는 서울서초, 서울내곡, 고양원흥, 그리고 하남감일 보금자리주택사업의 4개 지구를 생태계서비스 평가모형의 사례적용 대상지구로 선정하였다(표 IV-1).

표 IV-1. 사례대상사업의 특성

사업명	사업규모 (세대수)	세대밀도 (세대수/km ²)	개발 전 토지이용현황	개발 후 공원녹지비율
서울서초	소규모(3,930)	최대(10,819)	농경지비율(75.8%) 최대	최소(17.5%)
서울내곡	소규모(4,247)	최소(5,186)	농경지비율(70.0%) 높음	최대(41.6%)
고양원흥	중규모(8,601)	평균(6,682)	임야비율(32.2%) 최대	평균(27.8%)
하남감일	대규모(12,907)	평균이상(7,646)	기타비율(43.2%) 최대	평균미만(20.7%)

사례대상지구의 주요 특성을 살펴보면, 서울서초보금자리주택지구는 보금자리 주택사업 가운데 세대밀도가 가장 크고 개발 후 공원녹지비율이 가장 작았다. 서울내곡보금자리주택지구는 이와 반대로 세대밀도가 가장 작고 공원녹지비율이 가장 큰 지구이었다. 고양원흥보금자리주택지구는 사업규모가 중규모이고 개발 전의 농경지, 임야 및 기타 비율이 보금자리주택사업에서 평균이었다. 하남감일보금자리주택지구는 사업규모가 대규모이면서 기타비율이 보금자리주택사업에서 최대인 특성을 가졌다. 4개 지구의 각 특징들이 생태계서비스 평가모형의 적용을 통해 어떤 차이를 보이는지 고찰하였다.

2) 사례지역 현황

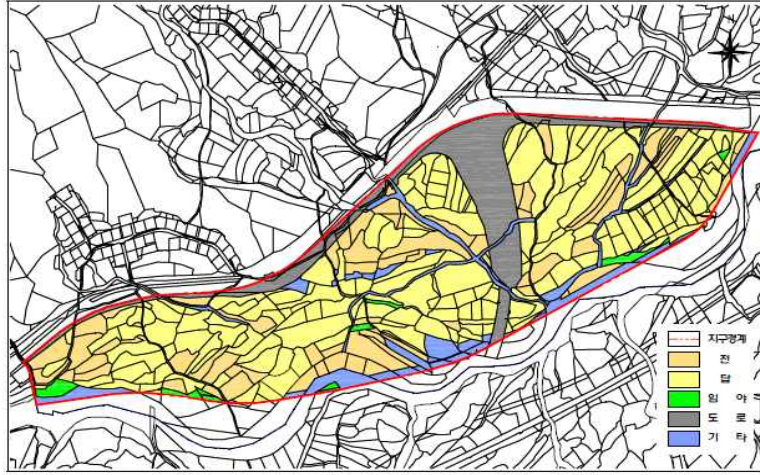
(1) 서울서초보금자리주택지구

서울특별시 서초구 우면동과 경기도 과천시 주암동 일원 361,948.7㎡가 사업지구(그림 IV-1)이다. 대부분 사업지구는 서울시에 속하며 경기도와 경계부에 위치하고 있다.

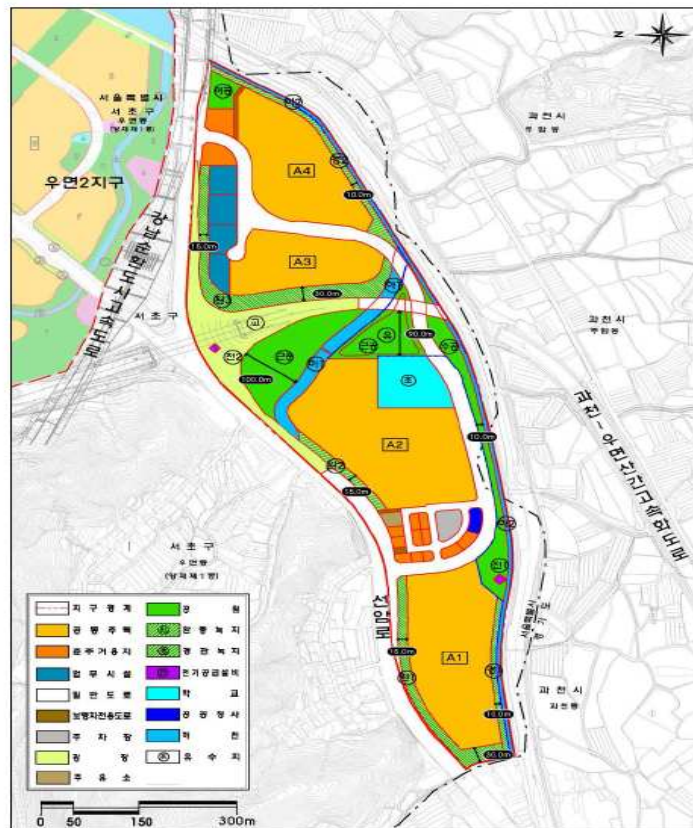


그림 IV-1. 서울서초보금자리주택지구 전경(대한주택공사, 2009b)

서울서초보금자리주택지구의 개발계획은 수용인구 9,288인(밀도 256.6인/ha)이고 수용호수는 3,440호이다. 개발 전 주요 지목별 토지이용현황은 전과 답이 전체면적에서 75.9%인 274.5천㎡를 차지하고 있는데 대부분 경작지로서 비닐하우스로 이용하고 있다. 그 외 임야는 1.6%인 5.7천㎡, 도로가 13.8%인 50천㎡를 차지하고 있다. 개발 후 주요 토지이용계획은 주택건설용지가 42.8%인 155천㎡이고 공공시설용지가 57.2%인 209천㎡이다. 공공시설용지 중 생태공간은 공원이 11.6%, 녹지가 9.2%, 하천은 4.8%를 포함하고 있다(그림 IV-2, 표 IV-2).



(a) 토지이용현황도(개발 전)



(b) 토지이용계획도(개발 후)

그림 IV-2. 서울서초보금자리주택지구 토지이용현황도와 토지이용계획도
(대한주택공사, 2009b)

표 IV-2. 서울서초보금자리주택지구 토지이용현황 및 계획

개발 전			개발 후		
구분	면적(m ²)	구성비(%)	구분	면적(m ²)	구성비(%)
총계	361,948.7	100.0	총계	361,948.7	100.0
전	76,324	21.1	주택건설용지	155,070	42.8
답	198,188	54.8	계	206,878.7	57.2
임야	5,733	1.6	공원(어린이,근린,수변)	42,105	11.6
도로	50,032	13.8	녹지(완충, 경관)	33,320	9.2
기타*	31,671.7	8.7	하천	17,290	4.8
* 기타 지목은 구거, 잡종지, 하천, 제방 등이 포함 * 하천 6,508m ²			광장	26,065.7	7.2
			교육시설(초등)	11,000	3.0
			도로	52,354	14.5
			기타(공급시설, 공공시설 등)	24,744	7

자료: 서울서초보금자리주택지구 환경영향평가서(대한주택공사, 2009b) 재구성

(2) 서울내곡보금자리주택지구

서울내곡보금자리주택지구는 서울특별시 서초구 내곡동, 신원동, 원지동, 염곡동 일원에 위치하고 있고 대상지 면적은 769,000m²이다(그림 IV-3).



그림 IV-3. 서울내곡보금자리주택지구 전경(서울특별시 SH공사, 2010)

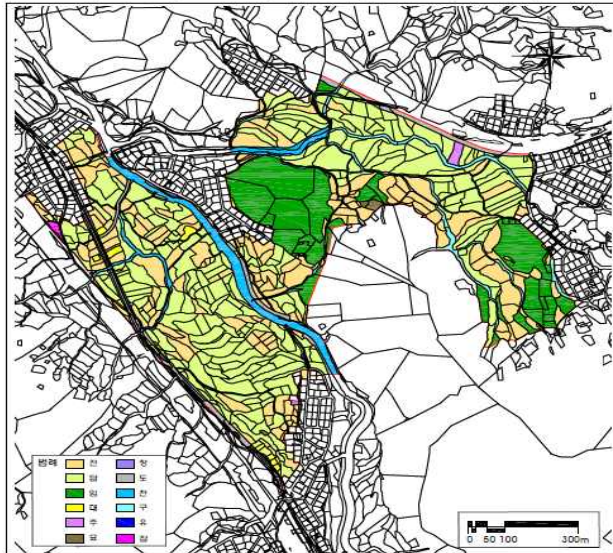
서울내곡보금자리주택지구의 개발계획은 수용인구 11,777인(밀도 153인/ha)이고 수용호수는 4,504호이다. 개발 전 지목별 주요 토지이용현황은 농경지가 전체 면적에서 69.9%인 538천㎡이고, 예정지역 가운데 부분에 위치한 임야가 14.7%인 113천㎡이다. 개발 후 주요 토지이용계획은 주택건설용지가 전체면적에서 32.2%인 247.7천㎡이고 공공시설용지는 65.6%인 504천㎡이다. 공공시설용지 중 생태 공간은 공원이 16.4%인 125.8천㎡, 녹지가 17.9%인 137.6천㎡, 그리고 하천은 6.2%인 48천㎡를 차지하고 있다. 대상지역내 훼손지복구용지가 전체면적 대비 12.9%인 99천㎡를 포함하고 있다(표 IV-3, 그림 IV-4).

표 IV-3. 서울내곡보금자리주택지구 토지이용현황 및 계획

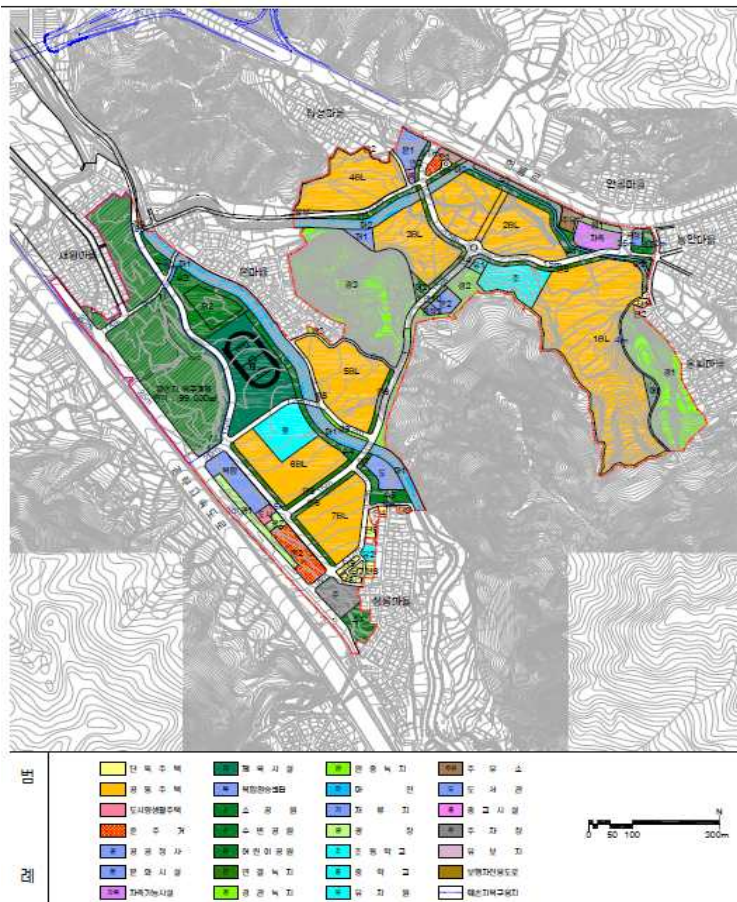
개발전			개발후					
구분	면적 (천㎡)	구성비 (%)	구분		면적 (㎡)	구성비 (%)		
총계	769	100.0	총계		769,000	100.0		
전	191	24.8	주택건설용지		247,704	32.2		
답	347	45.1	도시지원시설용지		17,109	2.2		
임야	113	14.7	공 공 시 설 용 지	계		504,187	65.6	
도로	47	6.1		공원 녹지**	소계		319,751	41.6
기타*	71	9.3			공원(소, 어린이, 수변)		125,795	16.4
* 기타 지목은 구거, 잡종지, 하천, 제방 등이 포함 * 하천 27,934㎡		녹지(완충, 경관, 연결)			137,569	17.9		
		하천			48,047	6.2		
		저류지			2,000	0.3		
		광장			6,340	0.8		
		교육시설(초, 중, 유치원)		25,245	3.3			
		도로		100,112	13.0			
		기타		59,079	7.7			

** 공원녹지는 보금자리주택용지(236,099㎡)와 훼손지복구용지(83,652㎡)의 합

자료: 서울내곡보금자리주택지구 환경영향평가서(서울특별시 SH공사, 2010) 재구성



(a) 토지이용현황도
(개발전)



(b) 토지이용계획도
(개발후)

그림 IV-4. 서울내곡
보금자리주택지구
토지이용현황도와
토지이용계획도
(서울특별시 SH공사,
2010)

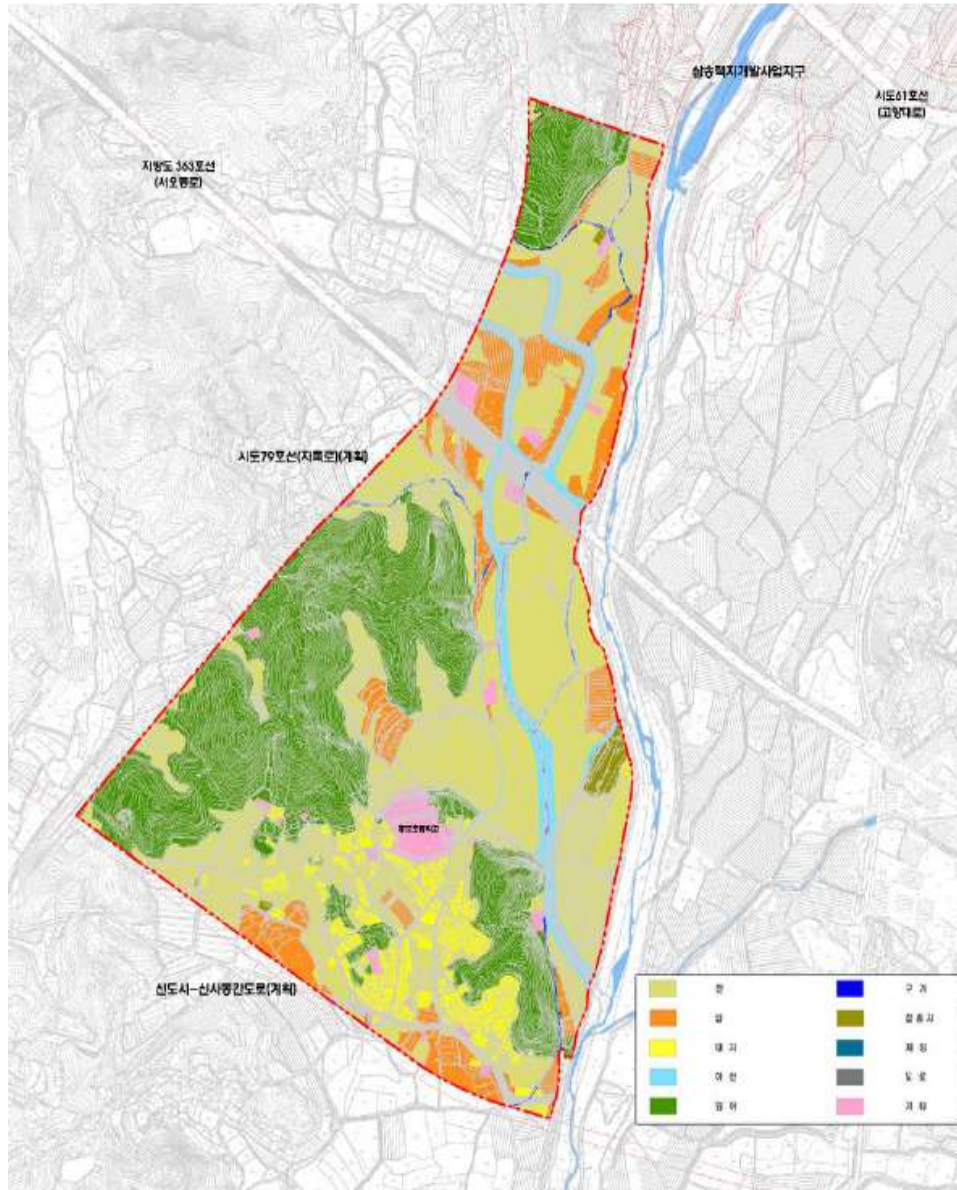
(3) 고양원흥보금자리주택지구

고양원흥보금자리주택지구는 경기도 덕양구 원흥동, 도내동, 용두동 일원에 위치하고 있고 대상지 면적은 1,287,262.9㎡이다(그림 IV-5).

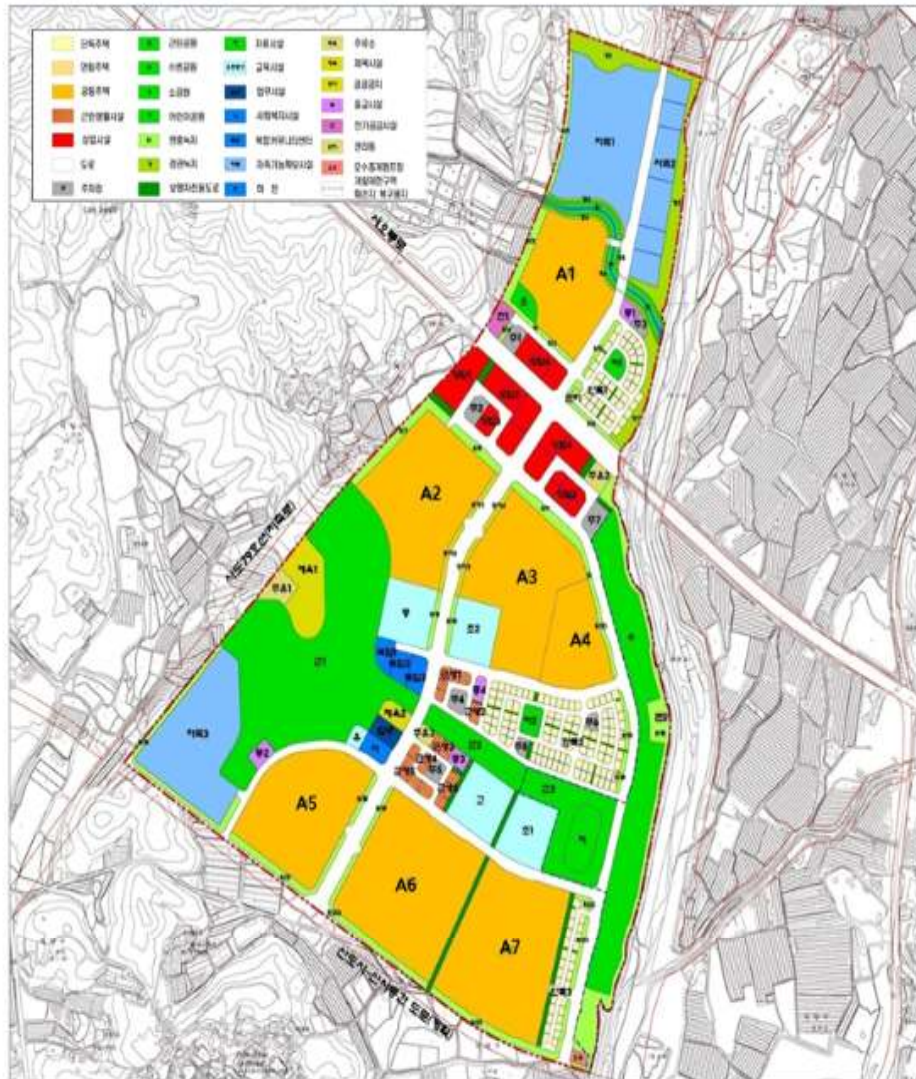


그림 IV-5. 고양원흥보금자리주택지구 전경(대한주택공사, 2009a)

고양원흥보금자리주택지구의 개발계획은 수용인구 23,763인(밀도 184.6인/ha)이고 수용호수는 8,937호이다. 개발 전 지목별 주요 토지이용현황은 전답인 농경지가 전체면적에서 48.2%인 621천㎡이고 임야가 32.1%인 414천㎡를 차지하고 있다. 개발 후 주요 토지이용계획은 주택건설용지가 전체면적에서 35.7%인 459천㎡이다. 공공시설용지는 60.7%인 782천㎡이며 이 중 생태공간은 공원이 17.5%인 224.5천㎡, 녹지가 9.4%인 121.3천㎡, 그리고 하천은 0.5%인 6.8천㎡를 포함하고 있다. 대상지역내 훼손지복구용지가 전체면적 대비 10.4%인 103,408㎡를 포함하고 있다(그림 IV-6, 표 IV-4).



(a) 토지이용현황도(개발전)



(b) 토지이용계획도(개발후)

그림 IV-6. 고양원흥보금자리주택지구 토지이용현황도와 토지이용계획도
(대한주택공사, 2009a)

표 IV-4. 고양원흥보금자리주택지구 토지이용현황 및 계획

개발전			개발후				
구분	면적(천㎡)	구성비(%)	구분		면적(㎡)	구성비(%)	
총계	1,287	100.0	총계		1,287,263	100.0	
전	493	38.3	주택건설용지		459,365	35.7	
답	128	9.9	상업용지		46,149	3.6	
임야	414	32.1	계		781,749	60.7	
대지	85	6.6	공공 시설 용지	공원 녹지*	소계	357,510	27.8
기타	167	13.1			공원(근린,수변,소공원)	224,500	17.5
					녹지(완충, 경관)	121,349	9.4
					하천	6,759	0.5
					공공공지	4,902	0.4
* 하천면적 31.3천㎡				교육시설	56,184	4.3	
				도로	180,366	13.9	
				기타(공급시설, 공공시설 등)	187,689	14.7	

* 공원녹지는 보금자리주택용지와 훼손지복구용지의 합

자료: 고양원흥보금자리주택지구 환경영향평가서(대한주택공사, 2009a) 재구성

(4) 하남감일보금자리주택지구

하남감일보금자리주택지구는 경기도 하남시 감일동과 김이동 일원에 위치하고 있고 대상지 면적은 1,688,319㎡이다(그림 IV-7).



그림 IV-7. 하남감일보금자리주택지구 전경(한국토지주택공사, 2010)

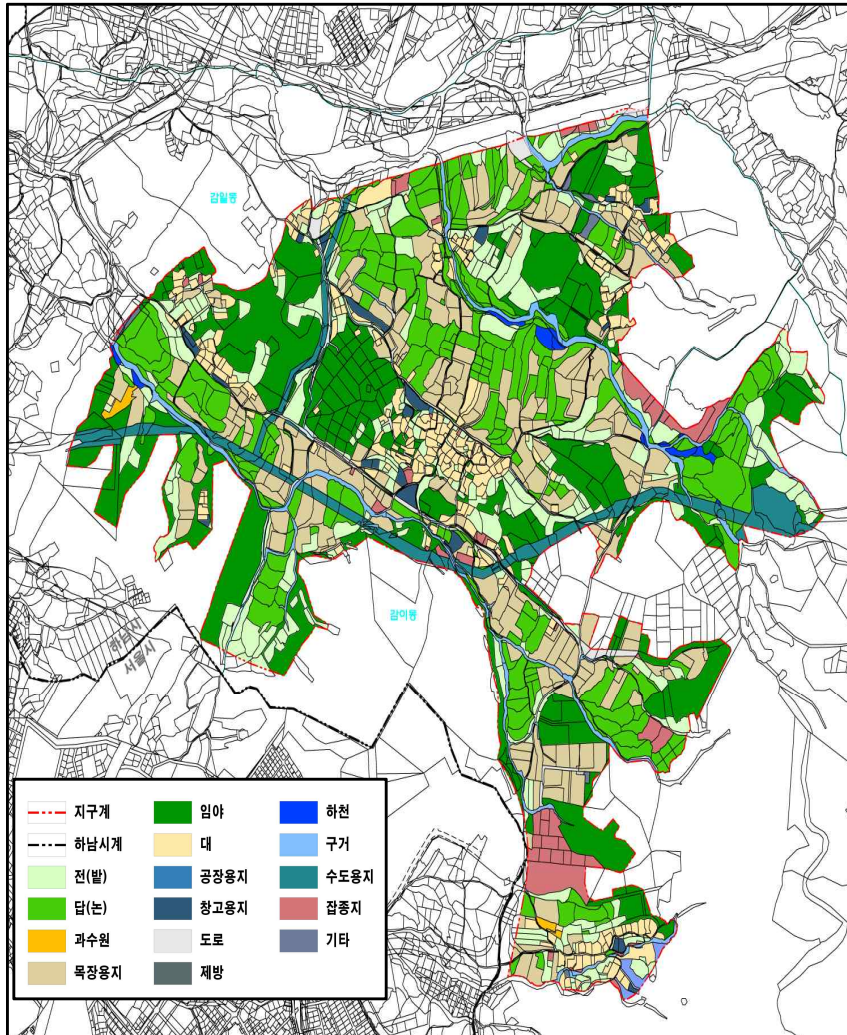
하남감일보금자리주택지구의 개발계획은 수용인구가 33,737인(밀도 199.9인/ha)이고 수용호수는 13,034호이다. 개발 전 지목별 주요 토지이용현황은 전답인 농경지가 전체면적에서 34%인 574천㎡이고 임야가 24.2%인 409천㎡, 그리고 구거, 잡종지와 제방 등 기타지역이 34.9%인 589천㎡를 차지하고 있다. 개발 후 주요 토지이용계획은 주택건설용지가 전체면적에서 42.1%인 710천㎡이다. 공공시설용지는 50.7%인 856천㎡이며 이 중 생태공간은 공원이 19.3%인 325.6천㎡, 녹지가 5.3%인 90.3천㎡, 그리고 하천은 3.7%인 62.5천㎡를 차지하고 있다. 대상지역내 훼손지복구용지는 전체면적 대비 8.9%인 149.5천㎡를 포함하고 있다(표 IV-5, 그림 IV-8).

표 IV-5. 하남감일보금자리주택지구 토지이용현황 및 계획

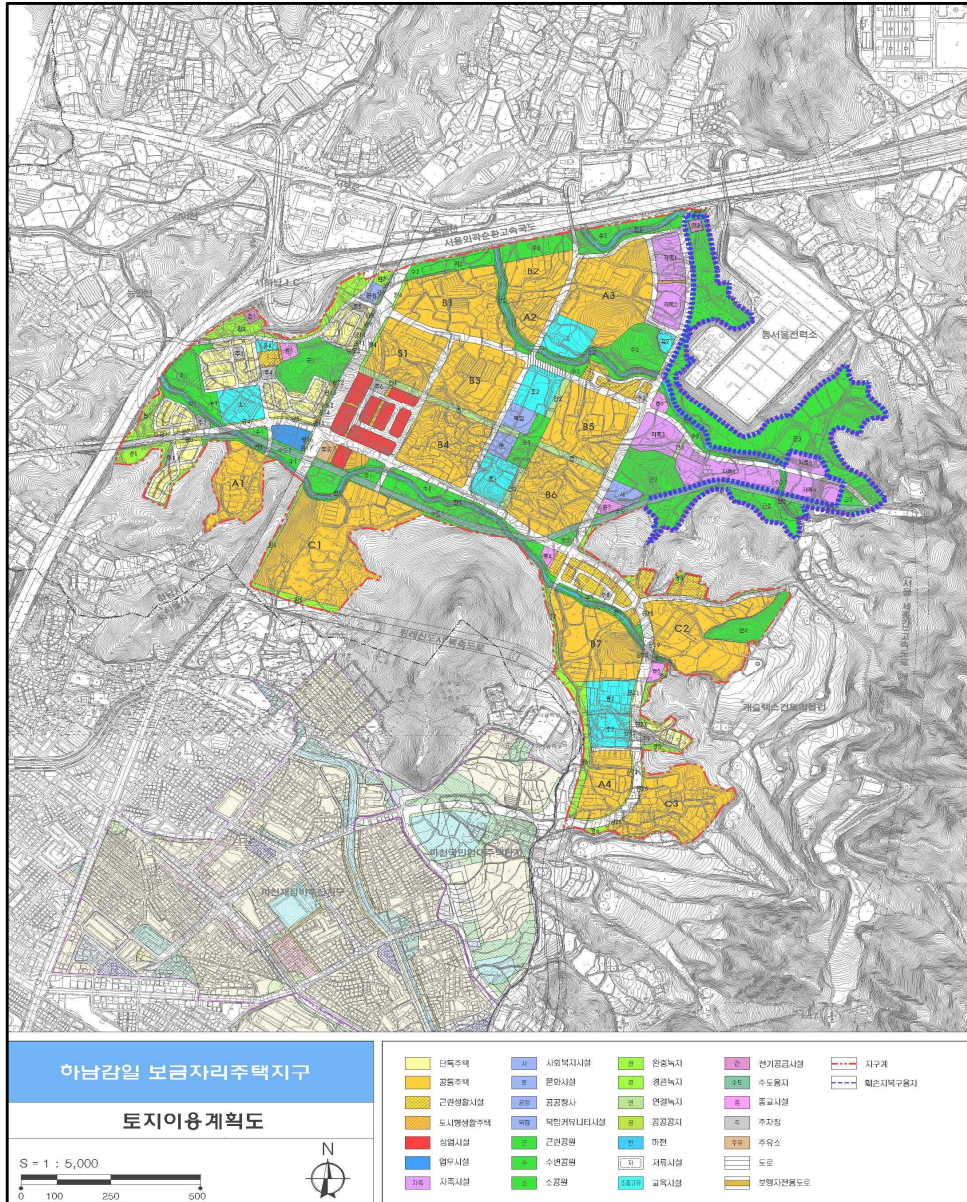
개발 전			개발 후					
구분	면적(천㎡)	구성비(%)	구분		면적(㎡)	구성비(%)		
총계	1,688	100.0	총계		1,688,319	100.0		
전	246	14.6	주택건설용지		710,007	42.1		
답	328	19.4	도시지원시설용지		122,282	7.2		
대지	116	6.9	공공 시설 용지	계		856,030	50.7	
임야	409	24.2		공원 녹지**	소계		488,071	28.9
기타*	589	34.9			공원(소2, 근린4, 수변2)		325,633	19.3
* 기타 지목은 구거, 잡종지, 하천, 제방 등이 포함 하천은 하상이 매우 협소하고 면적이 매우 적어 무시(하천면적자료 미제시)					녹지(완충, 경관, 연결)		90,315	5.3
					하천		62,463	3.7
					공공공지		8,444	0.5
					보행자전용도로		1,216	0.1
				교육시설(초3, 중2, 고1, 유2)		79,546	4.7	
				도로		226,191	13.4	
				기타		62,222	3.7	

** 공원녹지는 보금자리주택용지(188,765+90,315㎡)와 훼손지복구용지(137,917㎡)의 합

자료: 하남감일보금자리주택지구 환경영향평가서(한국토지주택공사, 2010) 재구성



(a) 토지이용현황도(개발 전)



(b) 토지이용계획도(개발 후)

그림 IV-8. 하남감일보금자리주택지구 토지이용현황도와 토지이용계획도
(한국토지주택공사, 2010)

2. 생태계서비스 평가모형 적용결과

본 연구에서 개발한 생태계서비스 평가지표와 평가모형의 적용가능성 검토를 위해 4군데 보금자리주택지구에 적용하고 그 결과를 분석하였다.

1) 평가지표 적용결과

(1) 공급서비스

① 농산물생산량

공급서비스는 농산물생산량, 침투량, 식물현존량, 그리고 생태1·2등급권역 4개 지표를 통해 평가하였다. 농산물생산량은 생태계가 인간에게 제공하는 식량의 양을 평가하는 지표이다. 보금자리주택 대상지구가 속해있는 지방자치단체의 2010년 통계연보에 수록된 표 IV-6의 자료를 이용하여 농산물 종류별 단위면적당 생산량을 구한 다음, 대상지별 전답 면적에 단위면적당 생산량을 적용하여 산출하였다.

개발 전 대상지별 농산물생산량을 살펴보면, 서울서초지구는 식량작물(1) 연간생산량이 95.04ton(톤)이고 식량작물(2)와 채소류 연간생산량은 2.5ton과 312.4ton으로 총 농산물생산량은 409ton이었다. 서울내곡지구는 식량작물(1) 연간생산량이 166.3ton이고 식량작물(2)와 채소류 연간생산량은 6.3ton과 788.1ton이어서 총 농산물생산량은 954.4ton이었다. 고양원흥지구는 식량작물(1) 연간생산량이 225.2ton이고, 식량작물(2)는 13.5ton, 채소류는 318.7ton, 그리고 특용작물 연간생산량은 1.7ton으로 총 농산물생산량은 559.1ton이었다. 하남감일지구는 식량작물(1) 연간생산량이 161.3ton이고 식량작물(2)와 채소류 연간생산량은 23.5ton과 409.2ton이 되어 총 농산물생산량은 594ton이었다.

개발 후 각 지구별 농산물생산량은 보금자리주택 개발계획에 제시한 토지이용계획에서 전답의 면적을 포함하지 않아 4개 대상지 모두 0으로 산정하였다. 농산물생산량 지표의 전·후평가 결과는 표 IV-7과 같다.

표 IV-6. 2010 사례대상지역 지자체별 작물생산면적과 생산량

지자체	작물명	면적 (ha)	생산량 (ton)	면적비율	작물명	면적 (ha)	생산량 (ton)	면적비율
				(ton/ha)				(ton/ha)
서울시	식량작물(1)	286	1,371		채소류	444	20,628	88.1% (46.5)
	미곡(현미)	286	1,371	4.8	과채류 (수박, 참외, 딸기)	55	3,475	63.2
	식량작물(2)	60	167	11.9% (2.8)	엽채류 (배추, 시금치, 상추)	153	7,163	46.8
	잡곡 (수수, 옥수수)	11	42	3.8	조미채소 (고추, 파, 대파, 오이, 호박, 토마토, 양배추)	202	8,340	41.3
	두류 (통, 팔, 기타)	17	34	2	근채류 (무, 쪽파, 마늘)	34	1,650	48.5
	서류 (고구마, 감자)	32	91	2.8				
하남시	식량작물(1)	109	536		채소류 등	60.6	1,207.5	83.5% (19.9)
	미곡	109	536	4.9	조미채소류 (고추, 파, 마늘)	36	937.8	26.1
	식량작물(2)	12	69.5	16.5% (5.8)	특용작물 (참깨, 들깨)	12	4.7	0.4
	잡곡	4	15	3.8	과실류 (배, 복숭아, 포도)	12.6	265	21.0
	두류(콩)	6	7.5	1.3				
	서류 (고구마, 감자)	2	47	23.5				
고양시	식량작물(1)	1,700	7,765		채소류	613.9	18,046.4	0.3%
	쌀(논벼)	1,698	7,759	478	딸기	1	30	3,000
	쌀보리	2	6	300	오이	58	574	1,162
	식량작물(2)	109	765.4	15%	호박	3.4	219.3	6,450
	옥수수	10	43	430	토마토	5.1	426	8,352
	콩	64	128.1	199	배추	259	11,030	4,258
	고구마	10	135.6	1,356	시금치	49	545	1,112.2
	감자	25	458.7	1,834.8	상추	54.8	987.5	1,802
	특용작물	2	96	84.7%	무우	98.4	2,439.3	2,478
	버섯	2	96	4,688	고추	17.8	436.3	2,451
					파	67.4	1,359	2,016

자료: 2010 서울시 통계연보, 2010 하남시 통계연보, 2010 고양시 통계연보

각각 발췌 저자 재구성

표 IV-7. 농산물생산량 지표 적용결과

(단위: ton/yr)

구 분	개발 전 (A)	개발 후 (B)	개발 후-개발 전 (B-A)	전·후평가 (B-A)/A
서울서초지구	409.9	0	-409.9	-1
서울내곡지구	954.4	0	-954.4	-1
고양원흥지구	559.1	0	-559.1	-1
하남감일지구	594.0	0	-594.0	-1

② 침투량

침투량은 생태계가 인간이 사용할 수 있도록 제공하는 물의 공급량을 평가하는 지표이다. 대상지역내 강수량에서 유출량을 감한 양으로 산출하였으며 손실량은 포함하였다(표 IV-8). 보금자리주택지구 강수량은 대상사업의 환경영향평가서에 수록된 10년 지속기간별 1,440시간 확률강우량을 적용하였다. 대상지구별 확률강우량은 서울서초, 서울내곡과 하남감일지구는 280.6mm이고 고양원흥지구는 282mm이었다. 각 지구별 대상지면적에 확률강우량을 곱한 강수량이 서울서초지구는 101,439천 m^3 , 서울내곡지구는 212,792천 m^3 , 고양원흥지구는 363,009천 m^3 , 그리고 하남감일지구는 473,076천 m^3 이었다. 개발 전 대상지별 유출량이 서울서초지구는 67,567천 m^3 이고 서울내곡지구는 150,802천 m^3 이며 고양원흥지구는 259,394천 m^3 이고 하남감일지구는 349,596천 m^3 이었다.

개발 후 각 지구별 유출량이 서울서초지구는 69,007천 m^3 , 서울내곡지구는 155,721천 m^3 , 고양원흥지구는 273,317천 m^3 이었고 하남감일지구는 353,943천 m^3 이었다. 전·후평가 결과 4개 지구 모두 개발 전보다 개발 후 침투량이 감소하였다.

표 IV-8. 침투량 지표 적용결과

(단위: 천 m^3)

구 분	개발 전 (A)	개발 후 (B)	개발 후-개발 전 (B-A)	전·후평가 (B-A)/A
서울서초지구	33,872	32,432	-1,440	-0.04
서울내곡지구	61,990	57,070	-4,919	-0.08
고양원흥지구	103,616	89,692	-13,924	-0.13
하남감일지구	123,480	119,133	-4,347	-0.04

③ 식물현존량

식물현존량은 생태계가 제공하는 목재, 연료 등과 같이 사용가능한 바이오매스 양을 평가하는 지표이다. 대상지구의 환경영향평가서에 제시된 개발사업 시행 전과 개발 후 식물현존량 자료를 적용하였다(표 IV-9).

표 IV-9. 식물현존량 지표 적용결과

(단위: ton)

구 분	개발 전 (A)	개발 후 (B)	개발 후-개발 전 (B-A)	전·후평가 (B-A)/A
서울서초지구	567.2	625.2	58	0.1
서울내곡지구	1,752.9	1,226.4	-526.5	-0.3
고양원흥지구	3,525	2,741	-784	-0.22
하남감일지구	2,119	3,802	1,683	0.79

식물현존량은 토지이용형태에 따라 표 III-11의 녹지자연도 등급별 차이를 나타냈다. 서울서초와 하남감일지구의 식물현존량이 증가하였고 특히 하남감일지구의 증가폭이 가장 컸다. 서울내곡과 고양원흥지구의 식물현존량이 감소하였다.

④ 생태1·2등급권역

생태1·2등급권역은 생태자원의 가치를 나타내는 지표이다. 대상지구의 환경영향평가서에 제시된 생태자연도 등급별 면적에 생태적 가치를 고려한 가중치를 부여하여 등급별 가중면적으로 산정하였다(표 IV-10). 여기서 가중치는 표 III-13에 따라 생태자연도 2등급지역 1.5, 원형보전지역 1.2를 부여하였다.

표 IV-10. 생태1·2등급권역 지표 적용결과

(단위: m²)

구 분	개발 전* (A)	개발 후* (B)	개발 후-개발 전 (B-A)	전·후평가 (B-A)/A
서울서초지구	361,948.7	361,948.7	0	0
서울내곡지구	810,707	840,522	29,815	0.04
고양원흥지구	1,446,657.9	1,287,262.9	-159,395	-0.11
하남감일지구	1,831,730.5	1,688,319	-143,412	-0.08

* 개발 전과 개발 후 지표 산정 값은 대상지구의 생태적 가치를 반영한 가중면적임

서울서초지구는 대상지 전체가 3등급지역이고 개발 후 등급 변화가 없어 전·후평가값이 0이며 가중면적은 없었다. 서울내곡지구는 개발 전 생태자연도 2등급 지역에 대한 생태등급별 가중치와, 개발 후 원형보전지역을 포함하여 생태등급별 가중치와 원형보전지역 가중치를 계산하여 전·후평가값이 양의 값을 나타내었다. 고양원흥지구는 개발 전 2등급지역 보전계획을 수립하지 않아 개발 후 3등급지역으로 변경된다고 가정하고 개발 전 생태등급별 가중치만 반영하여 음의 값을 나타내었다. 하남감일지구도 개발 전 생태등급별 가중치만 반영하여 전·후평가 결과 생태자원이 감소하였음을 나타냈다.

(2) 조절서비스

① 대기오염물질흡수량

조절서비스는 대기오염물질흡수량, 수·녹지면적, 탄소저장량, 활엽수·혼효림면적, 투수성지반면적, 수질오염정화능, 그리고 환경사지피복면적의 7개 지표를 통해 평가하였다. 먼저 대기오염물질흡수량은 보금자리주택 대상지구 내 식생이 흡수하는 대기오염물질인 SO₂, NO₂와 분진의 양을 산정하였다. 각 오염물질 흡수량 원단위는 Smith(1990) 자료를 재인용하여 국립환경연구원(1997)에서 제시한 활엽수림, 침엽수림, 관목과 초본의 대기오염물질별 흡수량을 사용하였다.

개발 전 각 지구별 식생유형은 환경영향평가서에 기재된 동·식물상 식생현황 조사자료에 근거하여 활엽수림, 침엽수림, 관목, 초본으로 단순화하였다. 2차림과 조림지는 활엽수림과 침엽수림으로 구분하였고 혼효림은 침엽수림과 활엽수림의 비율을 구하여 산정하였다. 농경지의 경우 논과 밭은 초본으로, 과수원은 관목으로 분류하였다. 그 외 2차초원과 묘포지는 초본으로 분류하였다.

개발 전의 경우, 서울서초지구는 교목과 관목을 포함하지 않아 초본면적으로 각 대기오염물질별 흡수량을 산정하였다. 서울내곡, 고양원흥과 하남감일지구는 활엽수림, 침엽수림, 관목과 초본 면적에 따라 대기오염물질흡수량을 산정하였다. 개발 후의 경우, 각 지구별 공원과 녹지계획에 따라 시설면적을 제외한 순수 수

목 식재지 면적을 구한다음 식생유형별 대기오염물질흡수량을 산정하였다(표 IV-11). 다만, 초본면적은 별도 기준자료가 없어 개발 후 초본이 흡수하는 대기오염물질 양은 계산하지 못하였다. 대기오염물질흡수량 지표의 전·후평가 결과는 4개 대상지구 모두 개발 전보다 개발 후 흡수량이 큰 폭으로 감소하였다.

표 IV-11. 대기오염물질흡수량 지표 적용결과

(단위: kg/ha/yr)

구 분	개발 전 (A)	개발 후 (B)	개발 후-개발 전 (B-A)	전·후평가 (B-A)/A
서울서초지구	4,633	1,386	-3,247	-0.7
서울내곡지구	23,502	3,949	-19,553	-0.83
고양원흥지구	56,111	6,116	-49,995	-0.89
하남감일지구	26,727	6,871	-19,856	-0.74

② 수·녹지면적

수·녹지면적은 도시열섬과 같이 미기후를 조절하는 생태계 기능을 평가하는 지표이다. 보금자리주택 대상지구에서 개발 전 토지이용현황도와 개발 후 토지이용계획도에 따라 대상지내 수공간면적과 녹지면적을 합하여 산출하였다(표 IV-12). 수·녹지면적 지표의 전·후평가 결과는 4개 대상지 모두 절반 또는 그 이상을 상회하는 수준으로 감소하였다.

표 IV-12. 수·녹지면적 지표 적용결과

(단위: m²)

구 분	개발 전 (A)	개발 후 (B)	개발 후-개발 전 (B-A)	전·후평가 (B-A)/A
서울서초지구	286,753	92,715	-194,038	-0.67
서울내곡지구	678,934	311,411	-367,523	-0.54
고양원흥지구	1,066,000	353,000	-713,000	-0.67
하남감일지구	983,000	478,362	-504,638	-0.51

③ 탄소저장량

탄소저장량은 기후변화를 야기하는 대표적 온실가스인 이산화탄소를 저장하는 생태계 기능을 평가하는 지표이다. 보금자리주택지구의 개발 전과 개발 후 식생의 탄소저장량과 토양의 탄소저장량을 합하여 산출하였다(표 IV-13).

식생은 교목활엽수, 교목침엽수와 관목을 대상으로 하였다. 개발 전 식생자료는 환경영향평가서에 제시된 군락기준 식생훼손면적과 훼손수목량 자료를 이용하여 각 식생유형별 면적비율로써 식생유형별 개체수를 추정하였다. 이를 이용하여 식생의 탄소저장량을 산정하였다. 개발 전 토양의 탄소저장량은 논, 밭, 산림, 기타, 조성녹지의 토양탄소저장량 원단위(표 III-17)를 적용하였다. 개발 전 대상지구별 탄소저장량에서 서울서초지구는 교목과 관목이 없고 초본만 있는 상태여서 토양의 탄소저장량만 산정하였다. 서울내곡, 고양원흥과 하남감일지구는 식생의 탄소저장량을 구한다음 토양의 탄소저장량을 더하였다.

개발 후 탄소저장량은 4개 보금자리주택지구 모두 수·녹지면적 지표의 산정방법을 적용하여 식생면적을 구하고 조경기준에 따른 식생의 개체수를 추정하여 탄소저장량을 산출하였다. 토양의 탄소저장량은 신규조성녹지와 기타지역으로 크게 토지유형을 구분하여 산정하였다.

탄소저장량 지표의 전·후평가 결과는 4개 지구 모두 감소하였다. 서울서초지구는 개발 전 식생의 탄소저장량이 없어 감소율이 가장 적었고, 고양원흥지구는 감소폭이 가장 컸다.

표 IV-13. 탄소저장량 지표 적용결과

(단위: tonC)

구 분	개발 전 (A)	개발 후 (B)	개발 후-개발 전 (B-A)	전·후평가 (B-A)/A
서울서초지구	1,504.3	1,154.8	-349.5	-0.23
서울내곡지구	8,427.0	3,104.8	-5,322.2	-0.63
고양원흥지구	22,795.7	4,859.1	-17,936.6	-0.79
하남감일지구	10,580.8	5,753.9	-4,826.9	-0.46

④ 활엽수·혼효림면적

활엽수·혼효림면적은 홍수 또는 산사태 등 자연재난을 완화하는 생태계 기능을 평가하는 지표이다. 보금자리주택 대상지구의 환경영향평가서에 기재된 개발 전 식생현황조사와 개발 후 공원녹지계획에 따라 대상지역 내 교목활엽수와 혼효림지역의 면적으로 산출하였다(표 IV-14).

표 IV-14. 활엽수·혼효림 지표 적용결과

(단위: m²)

구 분	개발 전 (A)	개발 후 (B)	개발 후-개발 전 (B-A)	전·후평가 (B-A)/A
서울서초지구	0	4,600	4,600	1
서울내곡지구	101,631	13,200	-88,431	-0.87
고양원흥지구	308,452	20,500	-287,952	-0.93
하남감일지구	155,997	23,000	-132,997	-0.85

전·후평가 결과에서 서울서초지구는 개발 전 교목활엽수와 혼효림이 없고 개발 후 신규 조성되어 전·후평가값이 1이었다. 서울내곡, 고양원흥과 하남감일지구는 개발 전보다 개발 후에 활엽수·혼효림면적이 큰 폭으로 감소하였다.

⑤ 투수성지반면적

투수성지반면적은 토양이 수분을 보유함으로써 물을 흡수하고 배출하는 생태계 역할을 평가하는 지표이다. 보금자리주택 대상지구의 개발 전·후 토지피복유형에 따른 면적산정계수를 반영하여 투수성지반면적으로 산출하였다(표 IV-15).

표 IV-15. 투수성지반면적 지표 적용결과

(단위: m²)

구 분	개발 전 (A)	개발 후 (B)	개발 후-개발 전 (B-A)	전·후평가 (B-A)/A
서울서초지구	231,851	90,794	-141,057	-0.61
서울내곡지구	571,334	290,524	-280,810	-0.49
고양원흥지구	950,625	342,545	-608,080	-0.64
하남감일지구	879,800	463,815	-415,985	-0.47

개발 전에는 농경지, 임야와 하천지역이 평가대상이고, 개발 후에는 하천, 공원과 녹지지역이 주요 평가대상이다. 전·후평가 결과를 보면, 4개 지구 모두 투수성지반면적이 감소하였다.

⑥ 수질오염정화능

수질오염정화능은 자연의 힘으로 오수 등을 정화하는 생태계 기능을 평가하는 지표이다. 보금자리주택 대상지구의 개발 전과 개발 후 대상지 전체면적 대비 하천면적과 습지면적 비율로써 수질오염정화능을 산정하였다. 여기서 개발계획에 자연형 비점오염저감시설이 도입되는 경우, 개발 후 수질오염정화능에 자연형비점오염저감시설의 효율가중치를 계수로써 계상하였다(표 IV-16).

개발 전 수질오염정화능에서 서울서초지구는 우면천이 있고, 서울내곡지구는 여의천, 신원천, 원지천과 안골천 4개 소하천이 있으며, 고양원흥지구는 원흥천, 원흥소천, 궁말천 3개 소하천이 있어 하천면적을 계산하였으나 하남감일지구는 환경영향평가서에 하천면적자료가 제시하지 않아 0으로 계산하였다.

수질오염정화능 지표의 전·후평가 결과, 서울서초지구는 하천과 습지조성계획으로 가장 많이 증가하였다. 서울내곡지구와 하남감일지구는 하천면적이 늘어나서 수질오염정화능이 증가하였다. 고양원흥지구는 개발 후 자연형비점오염저감시설의 설치계획은 있었으나 하천면적이 1/5 수준으로 줄어들어 수질오염정화능이 감소하였다.

표 IV-16. 수질오염정화능 지표 적용결과

구 분	개발 전 (A)	개발 후 (B)	개발 후-개발 전 (B-A)	전·후평가 (B-A)/A
서울서초지구	0.018	0.067	0.049	2.72
서울내곡지구	0.036	0.065	0.029	0.79
고양원흥지구	0.024	0.006	-0.018	-0.75
하남감일지구	0	0.014	0.014	1

* 수질오염정화능 지표는 하천과 습지의 면적비율에 자연형 비점오염저감시설 효율계수를 곱한 값으로 단위가 없음

⑦ 환경사지피복면적

환경사지피복면적은 토양의 침식 또는 유실을 조절하는 생태계 기능을 평가하는 지표이다. 토양유실은 침식에 의해 발생하고 경사도가 심할수록 침식에 미치는 영향이 커서 토지이용에도 영향을 받기 때문에 보금자리주택 대상지구내 경사도 10° 이하의 생태면적에 토양유실률을 고려하여 산정하였다(표 IV-17).

환경사지피복면적 지표의 전·후평가 결과에서 서울서초지구가 가장 많이 증가하였다. 하남감일지구는 서초지구보다 증가폭은 낮으나 개발 후 환경사지피복면적이 증가하였다. 반면에, 서울내곡지구는 개발 후 환경사지 면적이 개발 전보다 감소하였다. 고양원흥지구는 다른 지구보다 개발 전 환경사지 면적 자체가 작았고 개발 후 토양유실률을 고려한 피복된 환경사지가 가장 많이 감소하였다.

표 IV-17. 환경사지피복면적 지표 적용결과

구 분	개발 전 (A)	개발 후 (B)	개발 후-개발 전 (B-A)	(단위: m ²) 전·후평가 (B-A)/A
				(B-A)/A
서울서초지구	27,618	48,412	20,794	0.75
서울내곡지구	276,018	202,839	-73,179	-0.27
고양원흥지구	605	165	-440	-0.73
하남감일지구	308,875	394,758	85,883	0.28

(3) 지원서비스

① 서식규모의 안정성

지원서비스는 서식규모의 안정성, 서식공간의 이질성, 지형보전·복구면적의 3개 지표를 통해 평가하였다. 서식규모의 안정성은 서식지크기가 클수록 다양한 개체가 서식하여 생물의 생존에 유리하고 작게 나누어진 서식지는 간섭의 영향이 커서 생물의 생존에 불리하기 때문에 보금자리주택 대상지구의 서식지 규모와 개별 서식지크기를 고려한 서식지패치 평균면적으로 평가하였다(표 IV-18).

서식규모의 안정성 지표에 대한 전·후평가 결과를 보면, 개발 후 4개 지구 모

두 서식지 평균패치 크기가 절반 이상 감소하였다. 서울서초지구가 가장 적게 감소하였고 서울내곡지구가 가장 많이 감소하였다.

표 IV-18. 서식규모의 안정성 지표 적용결과

(단위: m²)

구 분	개발 전 (A)	개발 후 (B)	개발 후-개발 전 (B-A)	전·후평가 (B-A)/A
서울서초지구	8,602.9	4,122.0	-4,480.1	-0.52
서울내곡지구	46,345.7	6,481.1	-39,864.6	-0.86
고양원흥지구	24,926.7	8,835.6	-16,091.1	-0.65
하남감일지구	17,974.7	3,928.9	-14,045.8	-0.78

② 서식공간의 이질성

서식공간의 이질성은 대상지내 특성이 다른 서식공간이 인접한 정도를 평가하는 지표이다. 대상지 내부 서식공간을 가로와 세로 각각 10미터 격자로 구분하고 각 기준이 되는 중심격자에서 주변 8개 격자의 서식지 특성이 차이가 나는 정도를 평가하였다(표 IV-19).

표 IV-19. 서식공간의 이질성 지표 적용결과

구 분	개발 전 (A)	개발 후 (B)	개발 후-개발 전 (B-A)	전·후평가 (B-A)/A
서울서초지구	0.029	0.097	0.067	2.29
서울내곡지구	0.194	0.100	-0.094	-0.49
고양원흥지구	0.160	0.065	-0.095	-0.59
하남감일지구	0.097	0.054	-0.043	-0.48

* 이질성 지표는 이질도의 면적비율에 이질계수를 곱한 값으로 단위가 없음

서식공간의 이질성 지표에 대한 전·후평가 결과를 보면, 서울서초지구는 개발 전 이질성이 가장 낮았고 개발 후 향상되어 전·후평가 결과 3배 이상 증가하였다. 서울내곡지구는 개발 전 이질성이 높은 토지이용형태였지만 개발 후 절반수준으로 감소하였다. 고양원흥지구는 개발 전 서울내곡지구보다 이질성이 약간 낮았으나

전·후평가 결과 가장 하락하였다. 하남감일지구는 개발 전 이질성은 낮으나 개발 후 절반 정도로 감소하여 서울내곡지구와 전·후평가 결과 비슷하게 감소하였다.

③ 지형보전·복구면적

지형보전·복구면적은 서식지 질에 대한 간접적인 추정방식이다. 보금자리주택 대상지구내에서 개발 전에는 임야지역을 자연지역면적으로 산출하였고, 개발 후에는 원형보전지역과 훼손지복구면적을 더하여 산출하였다(표 IV-20).

지형보전·복구면적의 전·후평가 결과를 보면, 서울서초지구는 개발 후 원형보전지역은 없었으나 훼손지복구계획으로 인해 전·후평가 결과 6배 이상 증가하였다. 서울내곡지구는 개발 후 원형보전지역이 추가되어 전·후평가 결과값이 증가하였다. 고양원흥지구와 하남감일지구는 모두 원형보전계획이 없었고 임야지역의 토지이용이 개발 후 변경되어 전·후평가 결과 감소하였다.

표 IV-20. 지형보전·복구면적 지표 적용결과

(단위: m²)

구 분	개발 전 (A)	개발 후 (B)	개발 후-개발 전 (B-A)	전·후평가 (B-A)/A
서울서초지구	5,733	33,966	28,233	4.90
서울내곡지구	113,000	191,020	78,020	0.69
고양원흥지구	414,000	103,408	-310,592	-0.75
하남감일지구	409,000	149,515	-259,485	-0.63

(4) 문화서비스

① 경관미

문화서비스는 경관미, 레크리에이션활동공간면적, 분산도, 다양성, 근접성 그리고 잠재성의 6개 지표를 통해 평가하였다. 먼저 경관미는 인간의 시선을 통해 자연경관이 변화된 정도를 평가하는 지표이다. 대상지내 가시공간 중에서 자연공간 면적비율을 산출하였다. 보금자리주택 대상지구의 환경영향평가서에서 경관부

문에 제시된 중경사진을 대상으로 개발 전 하늘공간과 자연공간 보유면적 비율과 개발 후 잠식되는 자연과 하늘공간면적 비율의 차이를 산정하였다(표 IV-21).

표 IV-21. 경관미 지표 적용결과

(단위: %)

구 분	개발 전 (A)	개발 후 (B)	개발 후-개발 전 (B-A)	전·후평가 (B-A)/A
서울서초지구	57.1	50.7	-6.4	-0.11
서울내곡지구	79	74.9	-4.1	-0.052
고양원흥지구	54	51.2	-2.8	-0.052
하남감일지구	85.4	83.9	-1.5	-0.02

경관미에 대한 전·후평가 결과, 대상지구 모두 개발로 인해 인공건축물의 영향으로 전·후평가 결과 부정적인 경향을 보였으나 그 차이는 미비하였다.

② 레크리에이션활동공간면적

레크리에이션활동공간면적은 성인이 일상영역 내에서 활동할 수 있는 레크리에이션 활동공간을 평가하는 지표이다. 보금자리주택 대상지구의 주거지경계로부터 500미터 이내에 있는 레크리에이션활동공간면적을 산출하였다(표 IV-22). 개발 전에는 토지피복도 중분류에서 임야내 소로와 하천면적을, 개발 후에는 토지이용계획도에서 공원, 녹지, 광장, 보행자전용도로와 하천을 대상으로 하였다.

표 IV-22. 레크리에이션활동공간면적 지표 적용결과

(단위: m²)

구 분	개발 전 (A)	개발 후 (B)	개발 후-개발 전 (B-A)	전·후평가 (B-A)/A
서울서초지구	0	135,836.6	135,836.6	1
서울내곡지구	97,534.9	332,599.8	235,064.9	2.41
고양원흥지구	61,871.0	389,461.1	327,590	5.29
하남감일지구	13,048.8	503,059.5	490,010.7	37.55

레크리에이션활동공간면적 지표의 평가결과를 보면, 서울서초지구는 대상지역 내 주거지가 없어 해당면적이 없었다. 그 외 3개 지구는 개발 전보다 레크리에이

선활동공간면적이 크게 증가하였다. 생태계서비스 평가지표의 결과값을 종합할 때 레크리에이션활동공간면적 지표 영향이 과도하지 않도록 표준화가 필요함을 보여 주었다.

③ 분산도

분산도는 레크리에이션 활동공간의 분포를 평가하는 지표이다. 레크리에이션 활동공간의 규모와 분포를 고려하여 대상지역 내 레크리에이션 활동공간이 밀집 또는 분산 정도를 패치의 분산도로써 산출하였다(표 IV-23).

분산도 지표의 평가결과를 보면, 서울서초지구는 개발 전 레크리에이션 활동공간이 없어 분산도 값이 0이고 서울내곡과 하남감일지구는 개발 전보다 개발 후 분산도가 향상하였다. 반면에 고양원흥지구만 전·후평가 결과 음(-)의 수치를 나타내어 개발 전보다 개발 후 분산도가 감소하였다.

표 IV-23. 레크리에이션 공간의 분산도 지표 적용결과

구 분	개발 전 (A)	개발 후 (B)	개발 후-개발 전 (B-A)	전·후평가 (B-A)/A
서울서초지구	0	0.806	0.806	1
서울내곡지구	1.21	2.39	1.18	0.97
고양원흥지구	2.74	1.32	-1.42	-0.52
하남감일지구	1.75	1.89	0.14	0.08

④ 레크리에이션 공간규모의 다양성

레크리에이션 공간규모의 다양성은 레크리에이션 활동공간 규모와 형태의 다양한 정도를 평가하는 지표이다. 보금자리주택 대상지구내 레크리에이션 활동공간이 다양한 크기로 구성되어 있는 구조에 대하여 평가하였다. 활동공간 규모는 「도시공원 및 녹지 등에 관한 법률」 시행규칙 제6조에서 구분한 도시공원 규모를 적용하여 소공원급 1,500㎡미만, 어린이공원급 1,500㎡부터 10,000㎡미만, 그리고 근린공원급 10,000㎡이상 3그룹으로 구분하였다. 3그룹별 레크리에이션 활동공간의 표준편차를 비교하였다(표 IV-24).

표 IV-24. 레크리에이션 공간규모의 다양성 지표 적용결과

구 분	개발 전 (A)	개발 후 (B)	개발 후-개발 전 (B-A)	전·후평가 (B-A)/A
서울서초지구	0	0.826	0.826	1
서울내곡지구	0.97	0.8	-0.17	-0.18
고양원흥지구	0.73	0.76	0.03	0.04
하남감일지구	0.67	0.76	0.09	0.14

다양성 지표를 평가한 결과를 보면, 서울서초지구는 개발 전 대상공간이 없어 개발 후 다양성은 1이었다. 서울내곡지구는 개발 전 규모의 다양성은 가장 높았으며, 전·후평가 결과 마이너스 값이 나타났다. 고양원흥지구는 개발 전과 개발 후에 레크리에이션 공간규모의 다양성이 비슷하였고 하남감일지구도 전·후평가 결과 고양원흥지구보다 약간 높은 수치를 나타냈다.

⑤ 교육공간의 근접성

교육공간의 근접성은 대표적 교육공간인 학교를 중심으로 학교와 인접한 교육공간의 면적을 평가한 지표이다. 보금자리주택 대상지구내 학교 경계를 기준으로 250미터 이내에 있는 교육공간 면적을 산출하였다(표 IV-25).

근접성 지표의 평가결과를 보면, 서울서초지구는 전·후평가 결과 개발 전보다 개발 후 교육공간 면적이 2.5배나 확대되었다. 그 외 3개 지구는 교육공간 비율의 차이는 있었지만 감소하였다.

표 IV-25. 교육공간의 근접성 지표 적용결과

(단위: m²)

구 분	개발 전 (A)	개발 후 (B)	개발 후-개발 전 (B-A)	전·후평가 (B-A)/A
서울서초지구	34,408.1	87,922.3	53,514.1	1.56
서울내곡지구	549,347.3	187,059.8	-362,287.4	-0.66
고양원흥지구	613,223.9	295,592.2	-317,631.7	-0.52
하남감일지구	307,374.2	204,136.9	-103,237.2	-0.34

⑥ 교육공간의 잠재성

교육공간의 잠재성은 다양한 특성을 가진 교육공간의 존재 유무를 판단하는 지표이다. 보금자리주택 대상지구내 다양하고 풍부한 자연환경을 접할 수 있도록 다른 특성을 가지고 있는 교육공간의 종류를 개수로써 산출하였다(표 IV-26).

잠재성 지표의 평가결과를 보면, 4개 지구 모두 개발 후 교육공간 종류는 비슷하였으나 개발 전 토지이용현황에 따라 서울서초지구의 3종류부터 서울내곡지구의 6종류까지 차이를 보였다.

표 IV-26. 교육공간의 잠재성 지표 적용결과

(단위: 개)

구 분	개발 전 (A)	개발 후 (B)	개발 후-개발 전 (B-A)	전·후평가 (B-A)/A
서울서초지구	3	3	0	0
서울내곡지구	6	3	-3	-0.5
고양원흥지구	4	3	-1	-0.25
하남감일지구	5	4	-1	-0.2

2) 평가지표 산정 값의 표준화

지금까지 개발에 따른 생태계서비스 변화를 평가하기 위해 생태계서비스 평가지표를 사례지구에 적용하고 전·후평가하였다. 이것은 평가지표의 특성과 단위가 달라 지표 간에 비교하기 어려운 점을 표준화하는 효과가 있었다. 그러나 전·후평가 결과에서 수질오염정화능, 지형보전·복구면적, 레크리에이션활동공간면적과 같이 개발 후 긍정적 영향이 큰 일부 지표들은 전체 생태계서비스 평가에 미치는 영향이 과도하게 나타나 조정이 필요하였다. 이에 따라 본 연구에 적합한 최적의 표준화방법을 찾기 위해 전·후평가, Z-score, 스케일재조정, 그리고 전·후평가값의 로그화방법을 비교분석하였다.

(1) 전·후평가

조절서비스 평가지표에 전·후평가를 적용하여 살펴보았다(표 IV-27). 그 결과 지표별 평가값의 미세한 차이를 그대로 반영하고 있기 때문에 대상지 특성에 따른 종합평가에 적합하고 지표 간에 비교평가가 용이한 장점을 가진다. 대상지구로는 고양원흥지구가 취약하였고, 지표로는 활엽수·혼효림면적지표가 가장 취약한 것으로 나타났다.

표 IV-27. 조절서비스 평가지표의 전·후평가 적용결과

구 분	서울서초	서울내곡	고양원흥	하남감일
소계	2.26	-2.84	-5.40	-1.75
대기오염물질흡수량	-0.7	-0.83	-0.89	-0.74
수·녹지면적	-0.67	-0.54	-0.67	-0.51
탄소저장량	-0.23	-0.63	-0.79	-0.46
활엽수·혼효림면적	1	-0.87	-0.93	-0.85
투수성지반면적	-0.61	-0.49	-0.64	-0.47
수질오염정화능	2.72	0.79	-0.75	1
완경사지피복면적	0.75	-0.27	-0.73	0.28

그러나, 전·후평가는 긍정적(+) 영향을 나타내는 지표 값이 일정 범위를 넘어서는 경우 한 지표가 생태계서비스 전체 평가에 과도한 영향을 미치고 있었다. 특히, 문화서비스 전·후평가 결과 대부분 지표들은 유사하였으나 레크리에이션활동공간면적 지표 값에 따라 문화서비스 평가값이 큰 차이를 나타냈다(표 IV-28).

표 IV-28. 문화서비스 평가지표의 전·후평가 적용결과

구 분	서울서초	서울내곡	고양원흥	하남감일
소계	4.45	1.988	3.988	37.21
경관미	-0.11	-0.052	-0.052	-0.02
레크리에이션활동공간면적	1	2.41	5.29	37.55
분산도	1	0.97	-0.52	0.08
다양성	1	-0.18	0.04	0.14
근접성	1.56	-0.66	-0.52	-0.34
잠재성	0	-0.5	-0.25	-0.2

(2) Z-score

생태계서비스 평가지표 산정 값에 전·후평가와 z-score 평가값을 비교하였다 (표 IV-29). 특히, 레크리에이션활동공간면적 지표의 경우 전·후평가값이 다른 지표값에 미치는 영향이 커서 종합평가하기는 어려웠으나 Z-score는 그 부분을 해소할 수 있었다. 즉, 하남감일지구에서 레크리에이션활동공간면적 지표의 경우 전·후평가값이 37.55이었으나 Z-score로 변환한 결과 1.73으로 작아졌다.

표 IV-29. 문화서비스 평가지표의 전·후평가와 Z-score 비교

구 분	전·후평가				Z-score			
	서울서초	서울내곡	고양원흥	하남감일	서울서초	서울내곡	고양원흥	하남감일
소계	4.45	1.988	3.988	37.21	2.98	-2.90	-2.5	2.42
경관미	-0.11	-0.052	-0.052	-0.02	-0.11	-0.07	0.12	0.06
레크리에이션 활동공간면적	1	2.41	5.29	37.55	-0.37	-1.26	-0.1	1.73
분산도	1	0.97	-0.52	0.08	0.09	1.34	-1.56	0.13
다양성	1	-0.18	0.04	0.14	2.65	-0.51	-1.15	-1
근접성	1.56	-0.66	-0.52	-0.34	0.06	-0.74	0.3	0.38
잠재성	0	-0.5	-0.25	-0.2	0.66	-0.75	-0.11	-0.60

본 생태계서비스 평가지표의 특징은 전·후평가값으로 개발에 의한 상태변화가 부정적(-), 현상유지(0), 긍정적(+)인지 쉽게 판별할 수 있는 것이다. 그러나, Z-score 표준화방법을 사용하면 대상지간에 상대평가는 가능하나 절대적인 개발 영향을 판단하는 것이 적절하지 않았다. Z-score값이 (+) 또는 (-)인 경우 긍정적 또는 부정적인 개발효과를 나타내기 보다는 평가값이 평균보다 작으면 (-)값으로 산정되고 평균보다 크면 (+)값으로 산정되었다. 즉, 4개 대상지구에 대한 Z-score 산정 값이 평균값을 기준으로 (+)값과 (-)값을 나타내었다. 당초 생태계 서비스 평가지표 산정 값을 통해 개발의 영향을 파악하고자 하였으나 적합하지 않는 방법임을 알 수 있었다.

(3) 스케일재조정

생태계서비스 평가지표 산정 값에 스케일재조정 표준화방법을 적용한 결과, 개발로 인한 긍정적 또는 부정적 영향은 평가할 수 있었으나 개발에 따른 영향의 차이를 나타내는 데 적합하지 않았다.

문화서비스 평가지표의 전·후평가와 스케일재조정 값을 비교하였다(표 IV-30).

표 IV-30. 문화서비스 평가지표의 전·후평가와 스케일재조정 비교

구 분	전·후평가				스케일재조정			
	서울서초	서울내곡	고양원흥	하남감일	서울서초	서울내곡	고양원흥	하남감일
소계	4.45	1.988	3.988	37.21	2	-2.34	-2.49	0.41
경관미	-0.11	-0.052	-0.052	-0.02	-1	-0.36	-0.36	0
레크리에이션 활동공간면적	1	2.41	5.29	37.55	0	0.04	0.12	1
분산도	1	0.97	-0.52	0.08	1	0.98	-1	0.39
다양성	1	-0.18	0.04	0.14	1	-1	0.18	0.27
근접성	1.56	-0.66	-0.52	-0.34	1	-1	-0.94	-0.86
잠재성	0	-0.5	-0.25	-0.2	0	-1	-0.5	-0.4

그 결과, 대상지구의 지표값 범위 차이를 구별하지 못하고 가장 큰 값과 가장 작은 값으로 단순화시키는 경향이 있었다. 서울서초지구의 경우 문화서비스 평가지표를 스케일재조정 값이 -1, 0, 1로 단순화되어 대상지 특성에 따른 생태계서비스 평가값의 변화를 나타내기 어려웠다. 또한 지표 산정 값이 현상유지일 경우 0이 되어야 하지만 스케일재조정과정에서 모든 평가값의 수치가 음수일 경우 최대값, 양수일 경우 최소값이 0이 되어 개발로 인한 경향을 설명하지 못하였다. 특히, 레크리에이션활동공간면적 지표 산정 값을 살펴보면, 전·후평가값 범위가 1부터 37.55까지였고 스케일재조정값은 0부터 0.12까지 범위가 좁아져서 극한값인 37.55는 1로 줄어들었지만, 1배가 증가한 서울서초지구는 0이 되고 서울내곡과 고양원흥지구는 2.41와 5.295값이 0.04와 0.12로 바뀌어 서비스 상태가 미미하게 증가한 것으로 결과치가 왜곡될 여지가 있었다. 또한, 조절서비스 평가지표의 스

케일재조정 결과를 표 IV-31에서 보면 고양원흥지구의 경우 모든 평가지표가 -1로 지표간의 차이를 평가하기 어려웠다.

표 IV-31. 조절서비스 평가지표의 전·후평가와 스케일재조정 비교

구 분	전·후평가				스케일재조정			
	서울서초	서울내곡	고양원흥	하남감일	서울서초	서울내곡	고양원흥	하남감일
소계	2.26	-2.84	-5.40	-1.75	0.18	-3.04	-7	-1.39
대기오염물질 흡수량	-0.70	-0.83	-0.89	-0.74	0	-0.68	-1	-0.21
수·녹지면적	-0.67	-0.54	-0.67	-0.51	-1	-0.19	-1	0
탄소저장량	-0.23	-0.63	-0.79	-0.46	0	-0.71	-1	-0.41
활엽수·혼효림 면적	1	-0.87	-0.93	-0.85	1	-0.97	-1	-0.96
투수성지반면적	-0.61	-0.49	-0.64	-0.47	-0.82	-0.12	-1	0
수질오염정화능	2.72	0.79	-0.75	1	1	0.44	-1	0.50
환경사지 피복면적	0.75	-0.27	-0.73	0.28	0	-0.82	-1	-0.3

(4) 전·후평가의 로그화

문화서비스 평가지표의 전·후평가와 전·후평가 로그화한 값을 비교하였다(표 IV-32). 그 결과를 보면 로그화 함으로써 평가값의 차이는 유지하면서 극한 값의 범위가 줄어들었음을 확인할 수 있었다. 다만 하남감일지구의 레크리에이션공간면적 지표와 같이 전·후평가 로그화한 값이 3.65로 최대값이 다른 지표 값에 비해 큰 경우에는 전문가 자문을 거쳐 전·후평가 로그값의 최대값을 2로 한정하였다. 이를 통해 극한 값은 보정하면서 다른 지표에 미치는 영향은 줄일 수 있게 되었다. 따라서 전후평가의 로그화가 지표별 평가값을 종합하는 평가에 가장 적합하여 본 연구의 표준화방법으로 적용하였다.

표 IV-32. 문화서비스 평가지표의 전·후평가와 전·후평가의 로그 비교

구 분	전·후평가				전·후평가의 로그			
	서울서초	서울내곡	고양원흥	하남감일	서울서초	서울내곡	고양원흥	하남감일
소계	4.45	1.988	3.988	37.21	2.92	0.78	0.77	3.37
경관미	-0.11	-0.052	-0.052	-0.02	-0.10	-0.05	-0.05	-0.02
레크리에이션 활동공간면적	1	2.41	5.29	37.55	0.69	1.23	1.84	3.65
분산도	1	0.97	-0.52	0.08	0.69	0.68	-0.42	0.08
다양성	1	-0.18	0.04	0.14	0.69	-0.16	0.04	0.13
근접성	1.56	-0.66	-0.52	-0.34	0.94	-0.51	-0.42	-0.29
잠재성	0	-0.5	-0.25	-0.2	0	-0.41	-0.22	-0.18

3) 평가모형의 적용결과

개발사업으로 인한 생태계서비스의 상태변화를 평가하기 위하여 사례대상사업에 생태계서비스 평가지표 산정 값을 표준화하고 계층분석기법(AHP)을 거쳐 가중치를 부여한 생태계서비스 평가모형을 적용하였다.

(1) 공급서비스

공급서비스 평가지표에 대한 생태계서비스 평가모형을 사례 대상지에 적용한 결과(그림 IV-9), 4개 대상지 모두 부정적인 경향을 나타내었으나 일부 지표는 개발 후 공급서비스 상태가 개발 전과 유사하거나 오히려 향상되었다.

농산물생산량(X1)은 개발 후 토지이용계획에 농경지를 포함하지 않아 개발 전 대상지구별 농경지 현황 차이를 나타내지 못하고 지표값이 동일하였다. 침투량(X2)은 4개 단지 모두 개발로 인한 부정적 영향이 적게 나타났다. 식물현존량(X3)은 개발 전 대상지역 상태에 따라 개발 후 결과에 차이가 있었다. 서울내곡과 고양원흥지구는 부정적 영향, 서울서초와 하남감일지구는 긍정적 영향이 나타났다. 생태1·2등급권역(X4)는 개발 후 긍정적 또는 부정적 영향이 약하게 나타났다.



* 공급: 공급서비스 평가지표 전체, X1: 농산물생산량, X2: 침투량, X3: 식물현존량, X4: 생태1·2등급권역

그림 IV-9. 공급서비스 평가결과

공급서비스의 4개 지구 평가결과에 민감하게 반응한 지표는 식물현존량이었으며 그 다음 생태1·2등급권역이었으며 농산물생산량과 침투량은 미미하였다. 그림 III-5에서 제시한 공급서비스 평가지표의 중요도와 비교하면, 각 지표별 중요도가 생태1·2등급권역(0.42)>농산물생산량(0.239)≒식물현존량(0.217)>침투량(0.123) 순이었다. 공급서비스 평가에는 생태1·2등급권역 지표와 식물현존량 지표가 중요하게 작용하였다. 농산물생산량은 중요도에 비해 지표 산정 값에서 대상지구간의 차이를 나타내지 못하여 개발 후 산정 값을 제시할 수 있도록 개발계획에 반영할 요소로써 중요하게 고려할 부분이라 판단된다.

(2) 조절서비스

조절서비스 평가지표에 대한 생태계서비스 평가모형을 사례 대상지에 적용한 결과(그림 IV-10), 개발로 인한 조절서비스는 서울서초지구를 제외한 3개 대상지에서 부정적 경향을 나타냈다.



* 조절: 조절서비스 평가지표 전체, X5: 대기오염물질흡수량, X6: 수·녹지면적, X7: 탄소저장량, X8: 활엽수·혼효림면적, X9: 투수성지반면적, X10: 수질오염정화능, X11: 환경사지피복면적

그림 IV-10. 조절서비스 평가결과

조절서비스 평가결과를 지표별로 살펴보면, 대기오염물질흡수량(X5)과 수·녹지면적(X6) 그리고 투수성지반면적(X9) 지표는 개발 후 부정적 영향이 나타났지만 지구별 그 정도의 차이가 적어 평가결과에 미치는 영향이 작았다. 탄소저장량(X7)은 대상지구 모두 개발 후 부정적 영향이 있었으나 대상지구간에 그 영향의 차이가 있었다. 활엽수·혼효림면적(X8)은 서울서초지구만 긍정적이었고 다른 3개 지구는 부정적 영향이 유사한 수준으로 나타났다. 수질오염정화능(X10)은 조절서비스 평가지표 가운데 민감도가 가장 커서 대상지구별 평가값 차이가 가장 잘 나타났다. 서울서초, 하남감일, 서울내곡지구의 순으로 긍정적 영향이 나타났고 고양원흥지구만 부정적 결과가 나타났다. 환경사지피복면적(X11)도 서울서초와 하남감일지구는 긍정적 영향이, 서울내곡과 고양원흥지구는 부정적 영향이 나타났다.

대상지구별 조절서비스에 미치는 영향을 살펴보면, 고양원흥지구는 모든 조절서비스의 평가결과 부정적 영향이 나타났고, 서울서초지구는 활엽수·혼효림면적 지표와 수질오염정화능 및 환경사지피복면적의 3개 지표가 개발 후 조절서비스

상태가 향상되었다. 하남감일지구는 수질오염정화능과 환경사지피복면적 지표가 개발 후 향상되었고 서울내곡지구는 수질오염정화능 지표만 개발 후 긍정적 영향이 나타났다.

조절서비스는 생태적 과정을 조절하는 생태계 기능이다. 개발로 인해 조절서비스 평가결과는 대부분 부정적인 영향을 나타냈지만 서울서초지구와 같이 긍정적으로 나타난 경우도 있었다. 즉, 서울서초지구에서 긍정적 영향을 나타낸 지표가 생태계서비스 평가에서 중요하게 작용하였다고 볼 수 있다. 조절서비스의 4개 지구 평가결과에 민감도가 큰 지표는 수질오염정화능과 환경사지피복면적이었고, 그 외 서울서초지구에서 긍정적 영향을 나타낸 활엽수·혼효림면적 지표, 대상지구별 부정적 영향의 차이를 보인 탄소저장량 지표이었다.

그림 III-5의 조절서비스 평가지표별 중요도는 탄소저장량(0.201)>투수성지반면적(0.148)≒활엽수·혼효림면적(0.146)>대기오염물질흡수량(0.138)·수·녹지면적(0.133)>수질오염정화능(0.126)>환경사지피복면적(0.108) 순이었다. 각 지표별 중요도와 조절서비스 평가결과에서 민감하게 반응한 지표를 종합하면, 조절서비스 평가에는 탄소저장량과 활엽수·혼효림면적 지표가 중요하게 작용하였다. 그 외 수질오염정화능과 환경사지피복면적은 중요도는 낮으나 평가결과값에서 대상지구간의 차이를 보여주고 있기 때문에 개발계획에 반영할 요소로써 고려할 부분이라 판단된다.

(3) 지원서비스

지원서비스 평가지표에 대한 생태계서비스 평가모형을 사례 대상지에 적용한 결과는 그림 IV-11과 같다. 서울서초지구만 개발 후 지원서비스 상태가 긍정적으로 나타났고, 서울내곡, 고양원흥과 하남감일지구는 부정적으로 나타났다.

지원서비스 평가결과를 지표별로 살펴보면, 서식규모의 안정성(X12) 지표는 4개 지구 모두 개발 후 부정적으로 나타났고 서울서초지구가 부정적 영향이 작았다. 서식공간의 이질성(X13)은 서울서초지구만 긍정적으로, 다른 3개 지구는 부정

적으로 나타났다. 지형보전·복구면적(X14)은 대상지역 차이에 따라 민감하게 반응하였다. 서울서초와 서울내곡지구는 긍정적, 고양원흥과 하남감일지구는 부정적 영향이 나타났다. 특히 서울서초지구는 지형보전·복구면적지표에서 긍정적 효과가 가장 컸다.



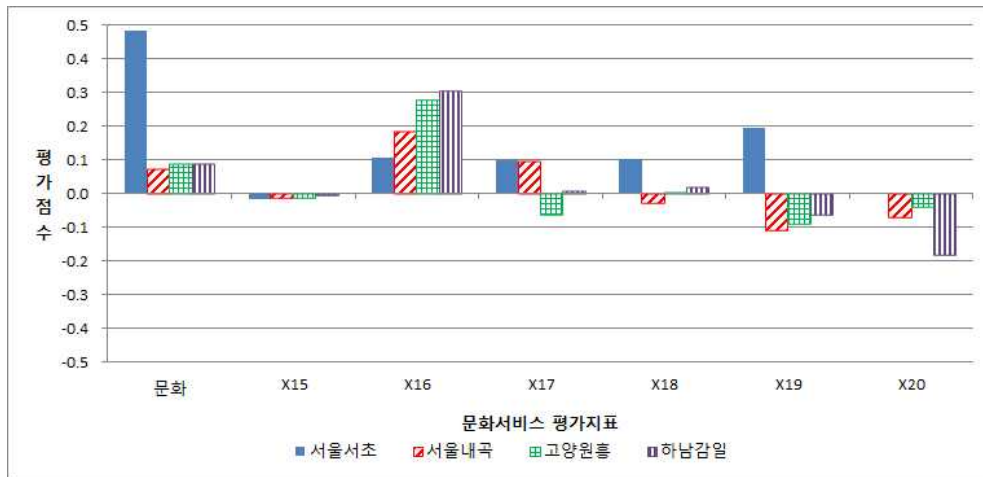
* 지원: 지원서비스 평가지표 전체, X12: 서식규모의 안정성, X13: 서식공간의 이질성, X14: 지형보전·복구면적

그림 IV-11. 지원서비스 평가결과

지원서비스의 4개 지구 평가결과에 가장 민감하게 반응한 지표는 지형보전·복구면적이었다. 그림 III-5에서 제시한 지원서비스 평가지표의 중요도는 서식규모의 안정성(0.534)>지형보전·복구면적(0.28)>서식공간의 이질성(0.186) 순이므로 지원서비스 평가에 서식규모의 안정성 지표가 중요하게 작용하였다. 특히, 서식규모의 안정성은 생태계서비스 전체 20개 지표 가운데 중요도가 가장 높았다. 지원서비스 평가결과에 민감하게 반응한 지표는 지형보전·복구면적이었으나 지표의 중요도를 고려하여 개발 후 서식규모의 안정성 지표가 부정적 영향을 가장 적게 나타내도록 개발계획에 반영할 요소라고 판단된다.

(4) 문화서비스

문화서비스 평가지표에 대한 생태계서비스 평가모형을 사례 대상지에 적용한 결과는 그림 N-12와 같다.



* 문화: 문화서비스 평가지표 전체, X15: 경관미, X16: 레크리에이션활동공간면적, X17: 분산도, X18: 다양성, X19: 근접성, X20: 잠재성

그림 N-12. 문화서비스 평가결과

문화서비스 평가결과 4개 지구 모두 개발 후 문화서비스 상태가 향상되었다. 특히, 서울서초지구가 가장 많이 향상되었다. 문화서비스 평가결과를 지표별로 살펴보면, 경관미(X15) 지표는 개발 후 4개 지구 모두 부정적 영향을 나타냈으나 평가에 미치는 영향은 작았다. 레크리에이션활동공간면적(X16)은 4개 지구 모두 긍정적으로 나타났다. 분산도(X17)는 서울서초와 서울내곡지구는 긍정적, 고양원흥지구는 부정적 영향이 나타났다. 다양성(X18)은 서울서초와 하남감일지구는 긍정적으로, 서울내곡지구는 부정적 영향이 나타났고, 근접성(X19)은 서울서초지구만 긍정적이고 다른 3개 지구는 부정적으로 나타났다. 잠재성(X20)은 서울내곡과 고양원흥, 그리고 하남감일지구에서 부정적인 영향이 나타났다.

문화서비스의 평가결과에서 대상지구별 평가값의 차이를 나타내 민감하게 반

응한 지표는 레크리에이션활동공간면적, 근접성과 분산도이었다. 그림 Ⅲ-5의 문화서비스 평가지표별 중요도를 보면, 근접성(0.205)>경관미(0.183)>레크리에이션활동공간면적(0.152)>다양성(0.146)≒분산도(0.143) 순이었다. 각 지표별 중요도와 문화서비스 평가결과를 종합하면, 문화서비스 평가에는 근접성과 경관미 지표가 중요하게 작용하였다. 문화서비스 평가결과에 민감하게 반응한 지표는 레크리에이션활동공간면적과 근접성이었고, 경관미는 민감도가 낮아 향후 경관미의 민감도 향상과 레크리에이션활동공간면적 지표가 개발계획에 반영할 요소라고 판단된다.

(5) 생태계서비스 유형별 평가모형 적용결과 종합

지금까지 생태계서비스 평가모형을 서비스 유형별로 대상지구에 적용한 결과를 종합하면 그림 Ⅳ-13과 같다. 서울서초지구는 공급서비스만 감소하였고 조절·지원·문화서비스는 향상되어 전체 생태계서비스 평가에서 긍정적인 양(+)의 값이 나타났다. 이에 반해 서울내곡, 고양원흥 그리고 하남감일지구는 문화서비스를 제외한 공급·조절·지원서비스 상태가 감소하여 평가결과 부정적인 음(-)의 값이 나타났다. 따라서 서울서초지구가 가진 특성을 분석하여 향후 개발사업에 적용하면 개발로 인한 생태계서비스 영향을 증가시키는 데 기여할 것으로 판단된다.

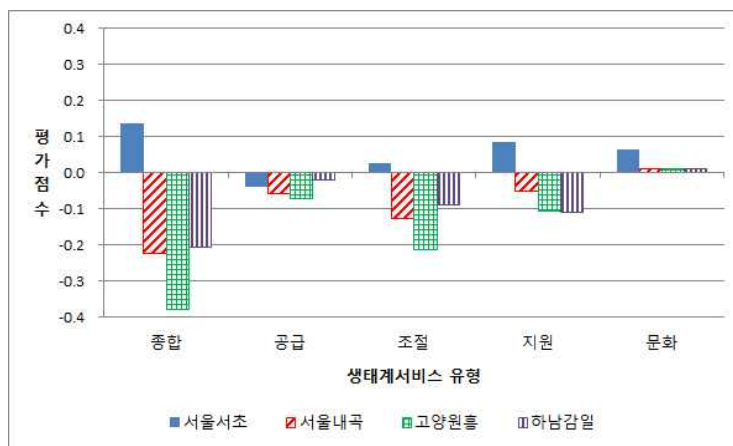
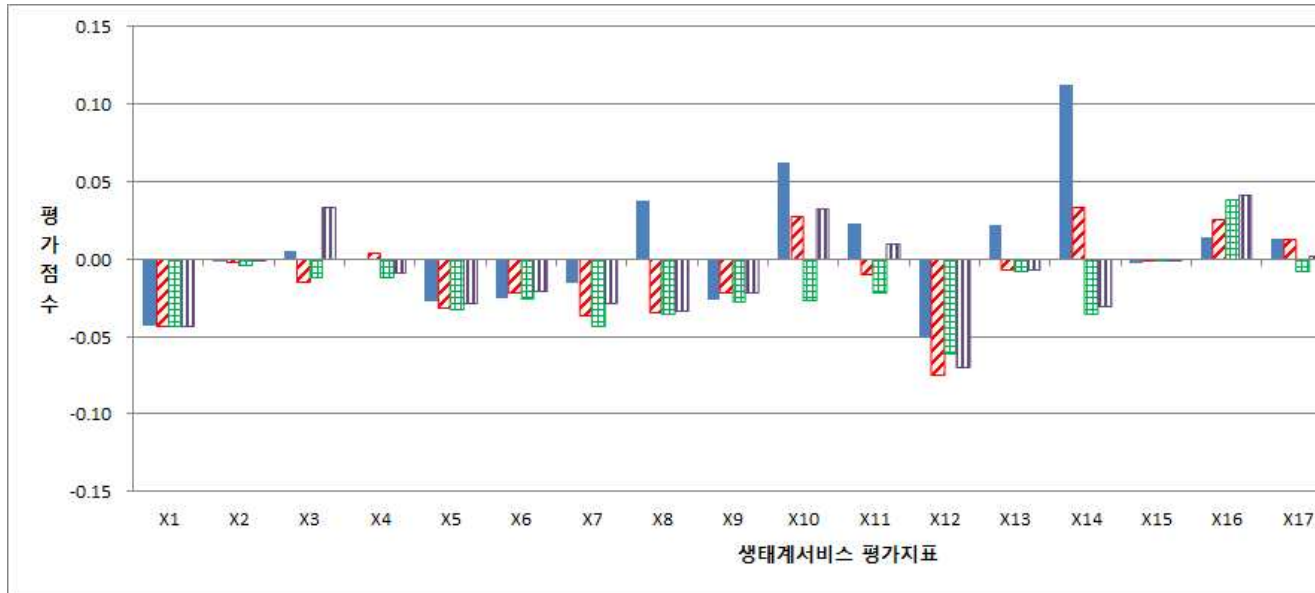


그림 Ⅳ-13. 생태계서비스 유형별 평가결과

또한 생태계서비스 평가모형을 평가지표별로 대상지구에 적용하고 종합하였다 (그림 IV-14). 개발로 인해 대상지구 전체에 부정적 영향을 나타낸 지표는 공급서비스의 농산물생산량(X1)과 침투량(X2), 조절서비스의 대기오염물질흡수량(X5), 수·녹지면적(X6), 탄소저장량(X7), 투수성지반면적(X9), 지원서비스의 서식규모의 안정성(X12), 그리고 문화서비스의 경관미(X15)로 총 8개였다. 여기서 부정적 영향이 가장 큰 지표는 서식규모의 안정성(X12)이었다. 3개 지구에 부정적인 영향을 나타낸 지표는 조절서비스의 활엽수·혼효림면적(X8), 지원서비스의 서식공간의 이질성(X13), 문화서비스의 근접성(X19), 잠재성(X20)으로 4개였다. 2개 지구에 긍정적인 영향을 나타낸 지표는 공급서비스의 식물현존량(X3), 조절서비스의 환경사지피복면적(X11), 지형보전·복구면적(X14)으로 3개였다. 3개 지구에 긍정적인 영향을 나타낸 지표는 조절서비스의 수질오염정화능(X10), 문화서비스의 분산도(X17)와 다양성(X18)으로 3개였다. 4개 지구 모두 긍정적인 영향을 나타낸 지표는 문화서비스의 레크리에이션활동공간면적(X16) 1개만 해당하였다.

향후 개발계획을 수립하는 경우, 생태계서비스의 부정적 영향은 줄이고 긍정적 영향은 늘리는 방향으로 개별 지표의 평가결과에 대한 세부 분석내용을 반영하여야 할 것으로 판단된다.



* X1: 농산물생산량, X2: 침투량, X3: 식물현존량, X4: 생태1·2등급권역, X5: 대기오염물질흡수량, X6: 수·녹지면적, X7: 탄소저장량, X8: 탄소저장면적, X9: 수·녹지면적, X10: 수질오염정화능, X11: 환경사지피복면적, X12: 서식규모의 안정성, X13: 서식공간의 이질성, X14: 지형보전·복구면적, X15: 지형보전·복구면적, X16: 지형보전·복구면적, X17: 분산도, X18: 다양성, X19: 근접성, X20: 잠재성

그림 IV-14. 생태계서비스 평가지표별 평가결과

3. 생태계서비스 평가모형 적용결과의 분석

1) 공급서비스 평가

앞 절에서 4개 보금자리주택지구에 생태계서비스 평가모형을 적용하여 개발 전과 개발 후 생태계서비스 상태변화를 살펴본 결과, 대상지역에 따라 긍정적 또는 부정적인 영향을 나타내는 생태계서비스 평가지표가 있었다. 생태계서비스 유형별로 생태계서비스 평가결과에서 차이를 나타내는 대상지구와 개발계획의 특성을 고찰하여 개발사업이 생태계서비스에 미치는 부정적 영향은 줄이고 긍정적인 영향을 증가시키고자 하였다.

공급서비스는 대상지 전체에서 인간이 이용할 수 있도록 물질적 편익을 제공하는 측면에서 평가하였다. 공급서비스 지표별 평가결과를 보면, 농산물생산량은 생태계가 제공하는 식량의 양을 나타내는 지표이다. 그런데 이 지표는 개발 전 대상지구의 농경지 면적과 분포비율이 차이가 있지만 나타내지 못하였다(표 IV-33). 또한 개발계획에 농경지를 포함하지 않아 4개 지구 모두 개발 후 농산물생산량이 없다고 가정하여 동일한 평가결과를 나타낸 한계가 있었다. 이의 해소를 위해서 지구 내 도시농업을 고려한 텃밭 등 조성계획을 가진다면 개발 후 농산물생산량의 산출이 가능하여 개발 전·후 농산물생산량 비교가 가능할 것이다. 도시 공간에 생산기능을 도입하는 것은 단순히 지역에서 농작물을 생산하여 푸드 마일 리지를 줄이는 효과뿐만 아니라 여가활용, 체험과 학습, 도시온도 저감, 에너지 저감(이현우 등 2010) 등 도시공간의 다원적 가치 향상에도 기여할 수 있을 것이다.

표 IV-33. 대상지구의 농경지 분포현황(개발 전)

(면적: 천m², 구성비: %)

구분	서울서초		서울내곡		고양원흥		하남감일	
	면적	구성비	면적	구성비	면적	구성비	면적	구성비
총면적	362	100.0	769	100.0	1,287	100.0	1,688	100.0
소계	274	75.9	538	69.9	621	48.2	574	34.0
전	76	21.1	191	24.8	493	38.3	246	14.6
답	198	54.8	347	45.1	128	9.9	328	19.4

침투량은 생태계가 제공하는 물의 양을 나타내는 지표로써 4개 지구 모두 개발 전보다 개발 후 침투량이 감소하였으나 그 차이는 작았다. 침투량 지표는 대상지구 간의 토지피복과 토지이용에 따른 수문학적 토양군의 유형별 면적과 유출량의 차이를 반영하고 있음에도 이와 관련된 생태계서비스에 미치는 증감효과는 작은 것으로 해석할 수 있었다.

식물현존량은 생태계가 제공하는 목재, 연료 등 사용가능한 양을 나타내는 지표로써 개발 전·후 대상지구의 녹지자연도 등급별 토지이용형태에 차이를 나타내고 있었다. 개발에 따른 대상지구의 녹지자연도 등급별 면적 변화는 표 IV-34와 같다. 개발 전, 서울서초지구는 조림지와 2차림(Ⅰ)이 없고 서울내곡지구는 2차림(Ⅰ)을 포함하고 있지 않았다. 고양원흥과 하남감일지구는 2차림을 포함하고 있었다. 개발 후, 서울내곡지구만 조림지가 감소하였고 다른 3개 지구는 조림지가 증가하였다. 고양원흥지구와 하남감일지구는 2차림(Ⅰ)이 감소하였다. 녹지자연도 등급별 면적에 따른 식물현존량 변화는 표 IV-35와 같다.

표 IV-34. 대상지구의 녹지자연도 등급별 면적 변화

(면적: m²)

녹지자연도 등급		서울서초		서울내곡		고양원흥		하남감일	
		개발 전	개발 후	개발 전	개발 후	개발 전	개발 후	개발 전	개발 후
	합계	361,949	361,949	769,000	769,000	1,287,263	1,287,263	1,688,319	1,688,319
0	수역	6,508	17,290	27,934	53,457	31,325	6,759	-	23,709
1	시가지·나지	31,254	269,234	38,452	458,655	224,734	934,655	1,235,607	1,182,420
2	농경지(논, 밭)	312,383	-	590,495	18,017	625,144	-	221,651	-
3	농경지(과수원)	9,008	-	1,306	150,391	21,438	-	2,882	-
4	2차 초원(Ⅰ)	2,796	2,800	-	-	18,433	369	67,591	-
5	2차 초원(Ⅱ)	-	-	-	-	11,265	-	-	-
6	조림지	-	72,625	110,813	88,480	170,336	280,876	57,071	460,551
7	2차림(Ⅰ)	-	-	-	-	184,588	64,604	103,517	21,639

표 IV-35. 대상지구의 식물현존량 변화

(현존량: ton)

구분	현존량 비율* (%)	서울서초		서울내곡		고양원흥		하남감일	
		개발 전	개발 후	개발 전	개발 후	개발 전	개발 후	개발 전	개발 후
합계		567.2	652.2	1,752.9	1,226.4	3,525	2,741	2,118.8	3,801.6
시가지·나지	0.4	15.9	137.3	19.6	233.9	115	477	630.2	603.0
농경지(논, 밭)	1.4	524.8	-	992	30.3	1,050	-	372.4	-
농경지(과수원)	2.1	22.3	-	3.2	373	53	-	7.1	-
2차 초원(I)	1.3	4.2	4.2	-	-	27	1	100.7	-
2차 초원(II)	2.0	-	-	-	-	26	-	-	-
조림지	5.6	-	483.7	738	589.3	1,134	1,871	380.1	3,067.3
2차림(I)	5.1	-	-	-	-	1,120	392	628.3	131.3
자연림	100	-	-	-	-	-	-	-	-

* 현존량 비율은 표 III-11의 녹지자연도 등급에 의한 식물현존량 값의 비율임

본 연구에서 적용한 녹지자연도 등급에 따른 식물현존량(표 III-11)은 자연림을 기준으로 환산하면 조림지의 18배, 2차림(I)의 20배, 2차 초원(II)의 50배에 달한다(표 IV-35). 개발 후 자연림이 훼손되는 경우 식물현존량에 미치는 영향이 크지만, 대상지구 모두 자연림은 포함하지 않았다. 2차림(I)은 조림지와, 농경지는 2차초원과 식물현존량이 비슷하였다. 조림지의 식물현존량 비율은 농경지(논, 밭)의 4배, 농경지(과수원)의 2.7배로써 식물현존량 측면에서는 농경지보다 조림지가 유리하다고 할 수 있다.

대상지구별 식물현존량 변화를 살펴보면, 하남감일지구는 2차림(I)이 4/5 정도 줄었으나 조림지가 8배 정도 늘어남에 따라 2차림의 감소분보다 식물현존량이 증가하여 생태계서비스에 미치는 긍정적 영향이 크게 나타났다. 서울서초지구는 개발 후 조림지를 조성함에 따라 식물현존량이 증가하였다. 이에 반해 서울내곡지구와 고양원흥지구는 개발 후 현존량이 감소하여 생태계서비스에는 부정적인 영향으로 나타났다. 서울내곡지구는 개발 전 2차림이 없고 개발 후 조림지가 줄어들었고, 고양원흥지구는 개발 후 조림지가 1.6배 정도 증가하였으나 2차림(I)

이 2/3 가까이 감소한 데 따른 것으로 판단된다. 식물현존량은 조림지와 2차림(Ⅰ)을 많이 포함할수록 서비스가 좋아진다. 식물현존량 증가를 위해서는 개발 전 2차림(Ⅰ)을 포함하지 않거나 포함하는 경우에는 식생을 유지하고, 개발 후 조림지를 조성하여 농경지나 2차 초원의 현존량 감소분을 상쇄하는 수준 이상으로 계획함이 바람직할 것이다.

생태1·2등급권역은 대상지구 생태자원의 가치를 나타내는 지표이다. 개발 전 생태적 가치가 높은 지역을 포함한 정도와 개발 후 그 지역의 원형보전계획에 따른 서비스 영향을 나타내고 있다. 개발 전 생태자연도 1등급지역은 제척되므로 생태자연도 2등급지역 분포면적과 개발 후 2등급지역 원형보전여부에 따라 평가 결과는 영향을 받는다.

대상지구의 생태등급별 변화를 보면(표 IV-36), 서울서초지구는 개발 전·후 3등급 지역만 포함하고 등급별 면적 변화가 없어 생태계서비스는 현상유지로 볼 수 있다. 고양원흥과 하남감일지구는 개발 전 2등급이 3등급지역으로 변경되어 생태계서비스가 감소하였다. 서울내곡지구는 개발 후 2등급지역은 유지하고 원형보전지역도 포함하고 있어 생태계서비스가 증가한 것으로 볼 수 있다. 개발 후 생태1·2등급권역의 증가를 위해서는 대상지구 내 생태자연도 2등급지역을 포함하고 원형 보전할 것을 권장한다. 생태계서비스 측면에서는 2등급지역을 포함하지 않는 것보다 포함하되 원형 보전하는 것이 유리하였다.

표 IV-36. 대상지구의 생태등급별 변화

(면적: 천㎡)

구분	가중치*	서울서초		서울내곡		고양원흥		하남감일	
		개발 전	개발 후	개발 전	개발 후	개발 전	개발 후	개발 전	개발 후
생태자연도 2등급지역	1.5	0	0	83.4	83.4	318.8	0	286.8	0
생태자연도 3등급지역	1	361.9	361.9	685.6	685.6	968.5	1,287.3	1,401.5	1,688.3
원형보전지역	1.2	0	0	0	107.4	0	0	0	0

* 가중치는 표 Ⅲ-14의 가중치 값임

2) 조절서비스 평가

조절서비스는 인간의 생활에 피해를 주는 요소를 저감하는 생태계 기능으로 대상지 내 생태공간인 녹지공간과 수공간이 주된 평가대상이다. 이들의 다양한 생태 기능적 가치를 살펴보기 위해 각 지표 간에 같은 기능이 중복되지 않도록 평가대상에 차이를 두는 것이 중요하다. 따라서 표 IV-37와 같이 조절서비스 평가지표의 평가 대상을 식생기반, 면적기반, 그리고 대상지 전체로 구분하여 산정 방법을 달리하였다. 대기오염물질흡수량(X5), 탄소저장량(X7), 활엽수·혼효림면적(X8)의 3개 지표는 식생에 기반하여 산정하였고, 수·녹지면적(X6), 투수성 지반면적(X9), 환경사지피복면적(X11)의 3개 지표는 면적에 기반하여 산정하였으며, 수질오염정화능(X10) 지표는 대상지 전체를 대상으로 산정하였다.

표 IV-37. 조절서비스 평가지표의 평가대상

식생에 기반하여 산정	면적에 기반하여 산정
<p>X5. 대기오염물질흡수량</p> <ul style="list-style-type: none"> - 개발 전 : 현존식생도의 식생유형별 면적 - 개발 후 : 시설면적을 제외한 식생유형별 순수 수목 식재면적 <p>X7. 탄소저장량</p> <ul style="list-style-type: none"> - 식재면적은 X5(대기오염물질흡수량)와 동일, 식생 개체수로 계산 - 토양저장량은 대상지 전체 <p>X8. 활엽수·혼효림면적</p> <ul style="list-style-type: none"> - 식재면적은 X5(대기오염물질흡수량)와 동일, 식생 일부만 반영 	<p>X6. 수·녹지면적</p> <ul style="list-style-type: none"> - 개발 전 : 전, 답, 임야, 하천 - 개발 후 : 공원, 녹지, 하천 <p>X9. 투수성 지반면적</p> <ul style="list-style-type: none"> - 전체 토지피복유형별 면적과 면적산정계수 이용 <p>X11. 환경사지피복면적</p> <ul style="list-style-type: none"> - 전체 경사 10° 이하 토지피복유형별 녹지면적과 토양유실률 이용 - 개발 전 : 전, 답, 임야, 나지, 초지 - 개발 후 : 공원, 녹지
X10. 수질오염정화능: 식생과 면적기반이 아닌 대상지 전체 수질정화능을 평가	

조절서비스 평가지표별로 평가결과를 살펴보았다. 대기오염물질흡수량은 대기오염물질을 흡수하는 생태계 기능을 나타내는 지표로써 식생유형별 대기오염물질 흡수량 차이를 나타내고 있었다. 개발에 따른 대상지구의 식생유형별 면적변화는 표 IV-38와 같고, 식생유형별 대기오염물질흡수량은 표 IV-39과 같다.

표 IV-38. 대상지구의 식생유형별 면적 변화

(면적: ha, 비율: %)

구분	서울서초		서울내곡		고양원흥		하남감일	
	개발 전	개발 후	개발 전	개발 후	개발 전	개발 후	개발 전	개발 후
계	32.4 (100)*	2.9 (100)	70.3 (100)	8.27 (100)	103.1 (100)	12.8 (100)	45.2 (100)	14.39 (100)
활엽수림	0	0.46 (15.9)	10.2 (14.5)	1.32 (15.9)	30.8 (29.9)	2.05 (15.9)	15.6 (34.5)	2.30 (15.9)
침엽수림	0	0.12 (4.1)	0.9 (1.3)	0.33 (4.1)	4.6 (4.5)	0.51 (4.1)	0.4 (0.9)	0.58 (4.1)
관목	0	2.32 (80.0)	0	6.62 (80.0)	0.6 (0.6)	10.24 (80.0)	0.3 (0.7)	11.51 (80.0)
초본	32.4 (100)	0	59.2 (84.2)	0	67.1 (65.1)	0	28.9 (63.9)	0

* ()는 식생전체 면적에서 식생유형별 면적이 차지하는 비율을 %로 나타냄

표 IV-39. 대상지구의 식생유형별 대기오염물질흡수량

(흡수량: kg/ha/yr, 비율: %)

구분	흡수량 비율* (%)	서울서초		서울내곡		고양원흥		하남감일	
		개발 전	개발 후	개발 전	개발 후	개발 전	개발 후	개발 전	개발 후
계		4,633 (100)**	1,386 (100)	23,502 (100)	3,949 (100)	56,111 (100)	6,116 (100)	26,727 (100)	6,871 (100)
활엽수림	1	0	664 (47.9)	14,586 (62.1)	1,892 (47.9)	44,044 (78.5)	2,930 (47.9)	22,308 (83.5)	3,292 (47.9)
침엽수림	0.35	0	58 (4.2)	450 (1.9)	165 (4.2)	2,300 (4.1)	256 (4.2)	200 (0.7)	288 (4.2)
관목	0.2	0	664 (47.9)	0	1,892 (47.9)	172 (0.3)	2,930 (47.9)	86 (0.3)	3,292 (47.9)
초본	0.1	4,633 (100)	0	8,466 (36)	0	9,595 (17.1)	0	4,133 (15.5)	0

* 흡수량 비율은 표 III-15 식생의 대기오염물질흡수량 값의 비율임

** ()는 식생전체 흡수량에서 식생유형별 흡수량이 차지하는 비율을 %로 나타냄

식생유형에 따른 대기오염물질흡수량은 활엽수림이 침엽수림의 2.8배, 관목의 5배, 초본의 10배에 달하므로 활엽수림 영향이 가장 크다. 이것은 개발 후 활엽수림 면적은 약 16%를 차지하지만 대기오염물질흡수량은 거의 50%에 달하는 것으로도 알 수 있다. 개발 후 식생면적은 조경기준을 적용하여 활엽수림, 침엽수림과 관목 면적을 산정함에 따라 4개 지구가 동일한 식생유형별 면적 비율을 가지

고 있었다. 또한 초본은 별도 조경기준을 두지 않아서 흡수량을 산정하지 못하고 일괄적으로 0값을 부여한 한계가 있다.

대상지구별 개발에 따른 식생유형별 흡수량 변화를 보면, 서울내곡, 고양원흥과 하남감일지구는 활엽수림 흡수량이 개발 후 감소하였다. 특히, 하남감일지구는 개발 전 활엽수림 흡수량 85% 정도가 감소하여 활엽수림 감소폭이 컸다. 침엽수림 흡수량은 대상지역 식생현황에 따라 증가 또는 감소하였고 관목 흡수량은 모든 지역에서 증가하였다. 이러한 식생면적과 대기오염물질흡수량에 대한 전·후평가 결과를 비교하였다(그림 IV-15). 4개 지구에 대한 전·후평가 결과는 서울서초지구 -0.7을 기준으로 하남감일지구가 -0.74, 고양원흥지구가 -0.89로 약 4%부터 20%까지 차이가 있었지만, 개발 후 모두 음(-)의 값을 가져 식생 전체면적과 이에 따른 흡수량이 감소하였기 때문에 생태계서비스는 하락한 것으로 나타났다.

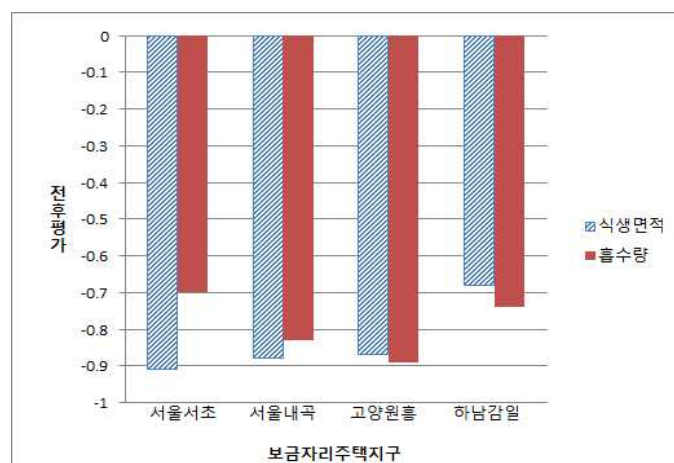


그림 IV-15. 식생면적과 식생의 대기오염물질흡수량 전·후평가

대상지구별 평가결과를 살펴보면, 서울서초지구는 식생면적보다 대기오염물질 흡수량에 대한 평가값이 다른 3개 지구에 비해 상대적으로 더 높았다. 이것은 서울서초지구만 개발 후 활엽수림, 침엽수림과 관목의 면적이 순증하였기 때문으로 판단된다. 고양원흥지구와 하남감일지구는 활엽수림의 감소폭이 커서 면적 대비 흡수량의 전·후평가 결과 낮은 값이 나온 것으로 볼 수 있다. 즉, 개발 후 대기오

염물질흡수량 증가를 위해서는 한정된 식재공간에 활엽수림을 식재하는 것이 유리한 것으로 판단된다.

수·녹지면적은 녹지와 물의 미기후 조절능을 함께 고려한 지표로써 대상지구 내 토지이용현황과 토지이용계획에 따른 차이를 나타내고 있다. 대상지구의 개발에 따른 수공간과 녹지공간면적 변화는 표 IV-40과 같다. 이에 대한 전·후평가 결과는 그림 IV-16과 같다.

표 IV-40. 대상지구의 수공간면적과 녹지공간면적 변화

(단위: 천㎡, 비율: %)

구분	서울서초		서울내곡		고양원흥		하남감일	
	개발 전	개발 후	개발 전	개발 후	개발 전	개발 후	개발 전	개발 후
계	286.7 (100)*	92.7 (100)	678.9 (100)	311.4 (100)	1,066.0 (100)	353.0 (100)	983.0 (100)	478.4 (100)
수공간 면적	6.5 (2.3)	17.3 (18.7)	27.9 (4.1)	48.0 (15.4)	31.3 (2.9)	6.8 (1.9)	0 (0)	62.4 (12.9)
녹지공간 면적	280.2 (97.7)	75.4 (81.3)	651.0 (95.9)	263.4 (84.6)	1,034.7 (97.1)	346.2 (98.1)	983.0 (100)	416.0 (87.1)

* ()는 수·녹지면적에서 수공간 또는 녹지공간이 차지하는 비율을 %로 나타냄

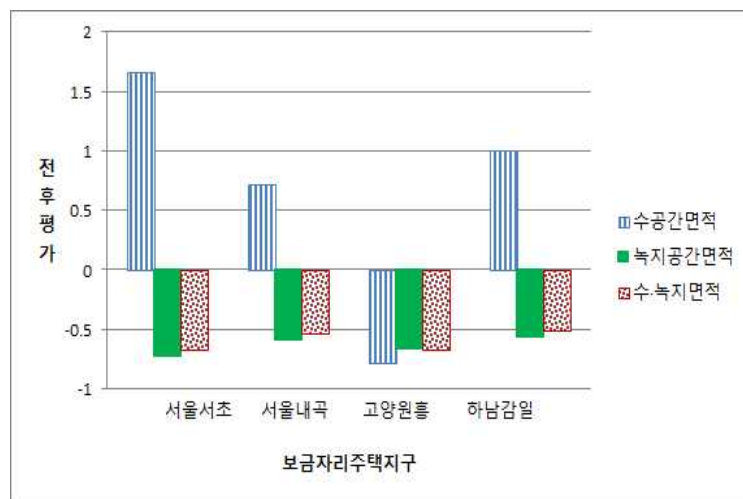


그림 IV-16. 수공간면적과 녹지공간면적 전·후평가

수·녹지면적 변화를 보면, 서울서초, 서울내곡과 하남감일지구는 개발 후 수공간면적 비율이 증가하여 수·녹지면적 전·후평가 결과에 긍정적 영향을 끼쳤고 고양원흥지구는 수공간면적이 감소하여 전·후평가 결과 영향이 없었다. 서울서초와 하남감일지구는 개발 후 수공간면적 비율이 약 19%와 13%를 차지하였으나 전·후평가 결과에 미치는 영향은 적었다. 이는 개발 후 녹지면적이 80% 이상을 차지하기 때문에 수공간보다 녹지공간면적이 전·후평가 결과에 미치는 영향이 컸다. 수·녹지면적 전·후평가는 녹지공간면적 전·후평가 결과값과 비슷하게 나타났다. 즉, 개발 후 한정된 공간에서 녹지면적이 생태계서비스에 미치는 영향이 크다고 볼 수 있다.

탄소저장량은 식생과 토양의 탄소저장량을 평가한 지표로써 대상지구의 개발에 따른 탄소저장량 변화는 표 IV-41과 같다. 전체 탄소저장량에서 식생과 토양이 차지하는 비율과 식생유형별 탄소저장량 비율은 그림 IV-17과 같다.

표 IV-41. 대상지구의 탄소저장량 변화

(단위: tonC, 비율: %)

구분	서울서초		서울내곡		고양원흥		하남감일	
	개발 전	개발 후	개발 전	개발 후	개발 전	개발 후	개발 전	개발 후
계	1,504 (100)	1,155 (100)	8,427 (100)	3,104 (100)	22,796 (100)	4,858 (100)	10,582 (100)	5,753 (100)
식생의 탄소저장량	0 (0)	593 (51.3)	4,808 (57.1)	1,691 (54.5)	16,125 (70.7)	2,625 (54.0)	4,000 (37.8)	2,950 (51.3)
활엽수	0	501	4,471	1,437	14,644	2,232	3,907	2,505
침엽수	0	67	337	183	1,478	283	93	322
관목	0	25	0	71	3	110	0	123
토양의 탄소저장량	1,504 (100)	562 (48.7)	3,619 (42.9)	1,413 (45.5)	6,671 (29.3)	2,233 (46.0)	6,582 (62.2)	2,803 (48.7)

* ()는 전체 탄소저장량에서 식생 또는 토양의 탄소저장량이 차지하는 비율을 %로 나타냄

개발에 따른 탄소저장량은 대상지구별 차이를 보였다. 개발 전 서울내곡지구와 고양원흥지구는 식생의 탄소저장량이 토양보다 절반을 상회하였다. 특히, 고양원흥지구는 개발 전 식생의 탄소저장량이 약 71%를 차지하여 개발로 인한 영향을 가장 많이 받을 수 있는 지구임을 유추할 수 있었다. 식생유형에 대해서는 활

업수에 의한 탄소저장량이 대상지구에 따라 식생의 탄소저장량 84%부터 98%까지 차지하였다. 활엽수가 탄소저장량에 미치는 영향이 큰 것을 알 수 있었다.

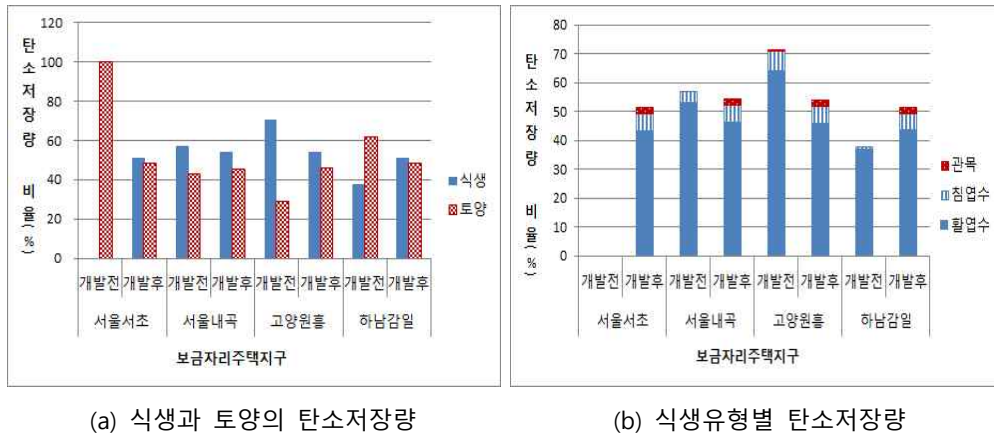


그림 IV-17. 식생과 토양의 탄소저장량

탄소저장량에 대한 전·후평가 결과는 그림 IV-18과 같다. 식생의 탄소저장량은 대상지구에 따라 증가 또는 감소하여 변화가 있었으나, 토양의 탄소저장량은 대상지구 모두 개발 전보다 약 1/3 수준으로 감소하였다. 식생이 토양보다 전·후평가 결과에 미치는 영향이 더 크다고 할 것이다.



그림 IV-18. 식생과 토양의 탄소저장량 전·후평가

대상지구에 적용한 탄소저장량 평가결과를 보면, 서울서초지구는 개발 전 토양의 탄소저장량만 있어 개발 후 식생의 탄소저장량이 증가함에 따라 전·후평가 결과 다른 지구보다 높았으며 개발로 인한 영향을 가장 적게 받았다. 하남감일지구는 개발 전 토양의 탄소저장량이 식생보다 1.6배 정도 높았으나 개발 후에는 식생의 탄소저장량이 토양보다 전·후평가 결과값이 높았다. 이와 다르게 고양원흥지구는 개발 전 식생의 탄소저장량이 토양보다 약 2.4배나 높고 개발 후 식생의 탄소저장량 감소폭이 대상지구 중 가장 커서 평가결과값이 가장 낮았다. 즉, 한정된 공간에서 개발 전 식생의 탄소저장량이 낮을수록 개발 후 활엽수림이 적게 감소할수록 전·후평가 결과치가 높아지게 되므로 생태계서비스에 미치는 긍정적인 영향이 커진다고 볼 수 있다.

활엽수·혼효림면적은 홍수 또는 산사태 등 자연재해를 완화하는 식생과 토양의 기능을 평가한 지표로써 대상지구에 적용한 결과, 대상지구 모두 혼효림지역은 포함하고 있지 않아 활엽수지역 면적으로 평가하였다(표 IV-42).

표 IV-42. 대상지구의 활엽수면적 변화

(면적: m²)

구분	서울서초		서울내곡		고양원흥		하남감일	
	개발 전	개발 후	개발 전	개발 후	개발 전	개발 후	개발 전	개발 후
활엽수면적	0	4,600	101,631	13,200	308,452	20,500	155,997	23,000

서울서초지구의 경우, 개발 후 활엽수 면적이 순증 함에 따라 전·후평가 결과 양(+)의 값을 가져 서비스가 증가하였다. 다른 3개 지구는 개발 후 활엽수 면적이 감소하였다. 이와 같이 개발 전에는 활엽수 면적이 적고 개발 후에는 해당 면적이 커질수록 전·후평가 결과값이 좋아진다. 이것은 개발 전 대상지 선정이 중요한 요소임을 나타내고 있다.

투수성지반면적은 토양의 배수정도와 자연 순환 기능을 평가하는 지표로써 대상지구 내 토지이용현황과 토지이용계획에 따른 차이를 나타내고 있다. 개발에 따른 대상지구의 투수성지반면적은 표 IV-43과 같다. 본 연구에서 적용한 토지피

복유형에 따른 면적산정계수(표 Ⅲ-18)는 토양 투수능에 대한 가중치로써 하천, 임야 등 자연지역이 농경지의 1.25배, 조경녹지의 1.4배에 달하므로 투수성지반 면적에서 자연지역 영향이 크다고 할 수 있다.

표 IV-43. 대상지구의 투수성지반면적 변화

(단위: 천㎡, 비율: %)

구분	서울서초		서울내곡		고양원흥		하남감일	
	개발 전	개발 후	개발 전	개발 후	개발 전	개발 후	개발 전	개발 후
계	231.8 (100)	90.8 (100)	571.3 (100)	290.5 (100)	950.6 (100)	342.5 (100)	879.8 (100)	463.8 (100)
하천 등 면적 ¹⁾	6.5 (2.8)	17.3 (19.1)	27.9 (4.9)	48.0 (16.5)	31.3 (3.3)	6.8 (2.0)	0 (0)	62.4 (13.4)
임야·녹지·공원 면적 ²⁾	225.3 (97.2)	70.2 (77.3)	543.4 (95.1)	234.9 (80.9)	919.3 (96.7)	318.8 (93.1)	868.2 (98.7)	377.5 (81.4)
기타면적 ³⁾	0	3.3 (3.6)	0	7.6 (2.6)	0	16.9 (4.9)	11.6 (1.3)	23.9 (5.2)

* ()는 투수성지반면적에서 하천 등 면적, 임야·녹지·공원면적과 기타면적이 차지하는 비율을 %로 나타냄

- 주. 1) 하천 등 면적은 표 Ⅲ-19에서 토지피복유형이 물환경 또는 하천, 저수지 등 투수된 수면에 해당하는 면적에 면적산정계수를 곱한 값임
 2) 임야, 녹지, 공원면적은 표 Ⅲ-19에서 토지피복유형이 나지, 자연산림, 생산지, 초지, 식재지, 조경녹지에 해당하는 면적에 면적산정계수를 곱한 값임
 3) 기타면적은 표 Ⅲ-19에서 토지피복유형이 주거지역, 학교에 해당하는 면적에 면적산정계수를 곱한 값임

투수성지반면적 평가결과를 살펴보면, 4개 지구 간에 전·후평가 결과는 고양원흥지구 -0.64와 하남감일지구 -0.47로 17% 정도 차이가 있으나 서비스는 모두 하락하였다. 이는 정도의 차이는 있으나 하천과 녹지 등 자연지역 면적이 감소한 데 따른 것이다. 서울서초지구와 고양원흥지구는 하천면적과 투수성지반 녹지면적의 감소폭이 다른 지구보다 많았다. 하남감일지구는 개발 후 하천면적이 순증하였고 투수성지반 녹지면적이 다른 지구에 비해 적게 감소하여 서비스 감소가 낮았다. 개발 후 자연지역은 확대하기 어렵기 때문에 개발 전 하천, 임야 등 자연지역은 적게 포함할수록 개발 후 해당 면적이 적게 감소하므로 전·후평가 결과값이 좋아진다.

수질오염정화능은 자연친화적 오수처리기능을 평가하는 지표로써 하천과 습지의 수질정화기능과 불특정오염물질의 유출을 저감하는 자연형 비점오염처리시설 효율에 따라 영향을 받는다. 대상지구에 적용한 수질오염정화능 평가결과를 보면 (표 IV-44), 하천과 습지면적이 수질오염정화능에 미치는 영향이 컸다. 고양원흥 지구는 자연형 비점오염저감시설을 설치하여 효율을 개선하였음에도 개발 후 하천면적의 감소로 인해 수질오염정화능이 하락하였다. 서울서초, 서울내곡과 하남 감일지구는 개발 후 하천과 습지면적이 증가하여 수질오염정화능이 향상하였다. 즉, 대상지구의 하천과 습지규모에 따라 전·후평가 결과에서 차이를 보였다. 개발 전 하천과 습지면적을 적게 포함하거나 개발 후 그 면적을 유지하여 감소하지 않도록 하고 추가적으로 자연형 비점오염처리시설의 효율을 높이는 것이 수질오염정화능 서비스 증진에 좋다고 판단된다.

표 IV-44. 대상지구의 수질오염정화능 변화

(비율: %)

구분	서울서초		서울내곡		고양원흥		하남감일	
	개발 전	개발 후	개발 전	개발 후	개발 전	개발 후	개발 전	개발 후
하천과 습지면적 비율	0.018	0.067	0.036	0.065	0.024	0.005	0	0.014
자연형비점오염저감시설 효율	0	0	0	0	0	0.071	0	0
자연형시설 효율계수	1	1	1	1	1	1.2	1	1

환경사지피복면적은 토지의 경사도와 피복여부 및 토지이용형태에 따라 토양 침식과 토양유실을 조절하는 생태계 기능이 영향을 받으므로 이를 평가하는 지표이다. 경사도 10°도 이하의 피복된 면적이 침식조절에 미치는 영향이 컸다. 토지 이용에 따른 토양유실률(표 III-22)은 나지가 밭보다 4배 정도, 조성녹지보다 11배 정도 높았고, 밭은 논보다 4배 이상, 조성녹지보다 3배 정도 높아 침식조절 측면에서 논과 조성녹지가 나지와 밭보다 유리하였다.

대상지구의 개발에 따른 환경사지피복면적 변화는 표 IV-45와 같다. 고양원흥 지구는 개발 전 경사도 10° 이하 피복된 토지면적이 서울서초지구의 2%, 하남감

일지구의 0.2%에 불과하여 가장 작고, 개발 후 3/4에 해당하는 면적이 줄어들어 침식조절 측면에서 가장 취약한 지구임을 유추할 수 있었다. 서울서초지구와 하남감일지구는 개발 후 환경사지피복면적이 증가하였고 토양유실을 고려한 면적도 감소하여 전·후평가 결과 서비스가 증가한 것으로 나타났다. 개발 후 환경사지피복면적의 전·후평가 결과 향상을 위해서는 개발 전 경사도 10° 이하 환경사지이면서 나지는 많이 포함하고 임야 등 산림지역은 적게 포함할수록 개발 후 조성녹지면적이 클수록 좋아진다.

표 IV-45. 대상지구의 환경사지피복면적 변화

(면적: m²)

구분	서울서초		서울내곡		고양원흥		하남감일	
	개발 전	개발 후	개발 전	개발 후	개발 전	개발 후	개발 전	개발 후
피복된 경사도 10° 이하 면적(A)	32,700	53,200	350,500	222,900	735.8	181.3	365,200	433,800
토양유실고려면적(B)	5,082	4,788	74,482	20,061	131	16	56,325	39,042
환경사지피복면적(A-B)	27,618	48,412	276,018	202,839	605	165	308,875	394,758

3) 지원서비스 평가

지원서비스는 대상지 전체에서 생물의 생존에 적합한 환경을 제공하는 생태계 기능으로써 서식지의 질적 측면에 대한 평가로 볼 수 있다. 지원서비스의 평가대상은 개발 전과 개발 후로 구분하고 지표별 차이를 두었다(표 IV-46).

표 IV-46. 지원서비스 평가지표의 평가대상

구분	개발 전	개발 후
서식공간	- 토지피복지도 중분류 기준 - 논, 밭, 과수원, 활엽수림, 침엽수림, 혼효림, 자연초지(기타초지), 내륙습지, 내륙수(하천)	- 토지이용계획도 기준 - 공원, 녹지, 저류지(유수지), 하천 * 공원: 근린공원 수변공원 어린이공원 소공원 * 녹지: 완충녹지, 경관녹지, 연결녹지
지형보전·복구면적	- 자연지역(임야)	- 원형보전지역, 훼손지복구지역

지원서비스 평가지표별 평가결과를 살펴보았다. 서식규모의 안정성은 서식지 규모와 개별 서식지크기를 평가한 지표로써 서식지 패치면적과 패치개수가 영향을 미친다. 서식지 패치면적이 증가하고 패치개수는 최소일 때 서식지 패치평균면적이 커져서 서식규모의 안정성은 최대가 된다. 개발에 따른 대상지구의 서식지 패치면적과 패치개수의 변화는 표 IV-47과 같다. 이에 대한 전·후평가 결과는 그림 IV-19와 같다.

표 IV-47. 대상지구의 서식지 패치면적과 패치개수 변화

(면적: m²)

구분	서울서초			서울내곡			고양원흥			하남감일		
	개발 전 (A)	개발 후 (B)	변화률 (B/A)	개발 전 (A)	개발 후 (B)	변화률 (B/A)	개발 전 (A)	개발 후 (B)	변화률 (B/A)	개발 전 (A)	개발 후 (B)	변화률 (B/A)
서식지 패치면적	34,412	107,172	3.1	556,149	324,056	0.58	747,802	353,425	0.47	467,342	479,327	1.03
서식지 패치개수	4	26	6.5	12	50	4.17	30	40	1.33	26	122	4.69
서식지 패치평균면적	8,603	4,122	0.48	46,346	6,481	0.14	24,927	8,836	0.35	17,975	3,929	0.22

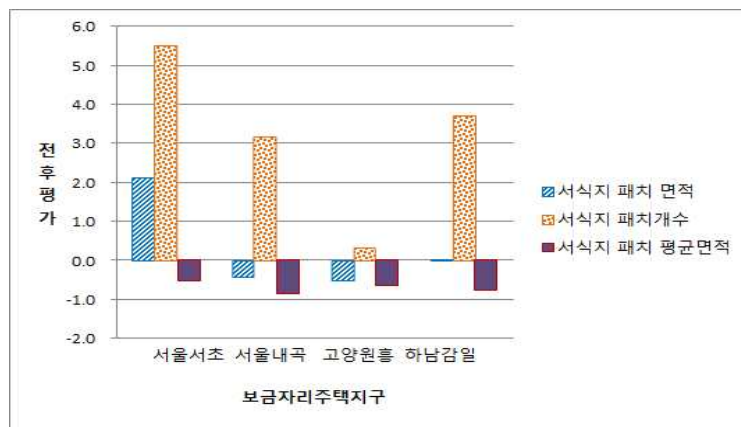


그림 IV-19. 서식지 패치면적과 패치개수의 전·후평가

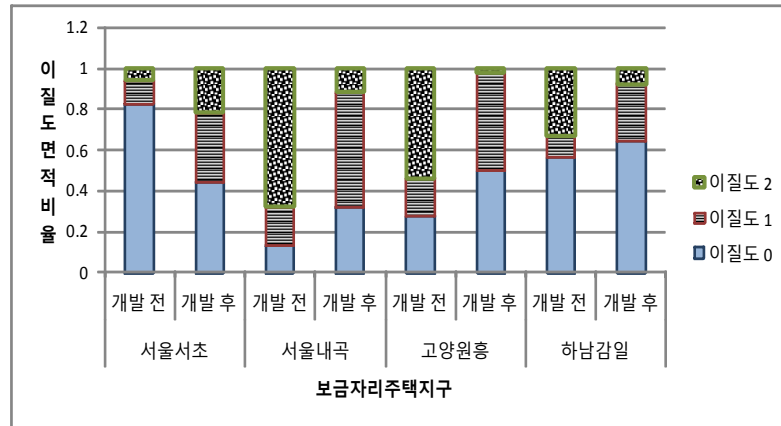
대상지구의 서식지 패치면적과 패치개수의 변화를 보면, 서울서초지구는 개발 후 서식지 패치면적이 3배 증가하였으나 패치개수가 6배 이상 늘어난 패치 파편

화로 인해 패치 평균면적이 개발 전보다 절반 수준으로 감소하였다. 서울내곡지구는 개발 후 서식지 패치면적이 절반 정도 감소하였고 패치개수는 4배 증가하여 패치 파편화가 나타났다. 그 결과 패치 평균면적이 대상지구 중 가장 많이 감소한 것으로 나타났으며 서식규모의 안정성 측면에서 가장 불리한 지구였다.

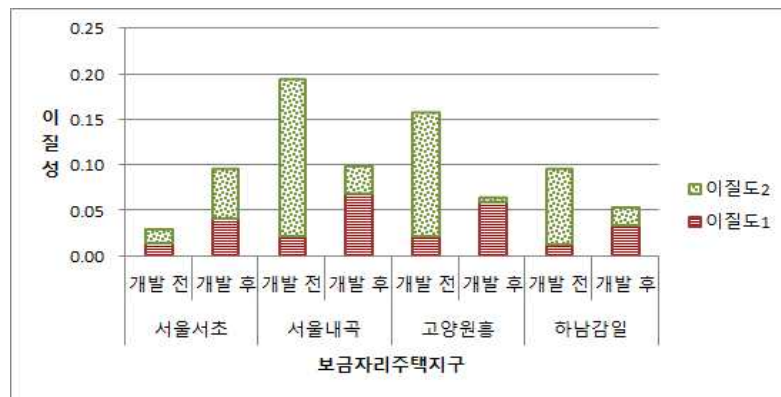
서식규모의 안정성에 대한 4개 지구의 전·후평가 결과는 서울서초지구 -0.52, 고양원흥지구 -0.65, 서울내곡지구 -0.86으로 서울서초와 고양원흥지구의 13%부터 서울서초와 서울내곡지구의 34%까지 차이가 있었다. 개발 후 대상지구 모두 음(-)의 값을 가져 서비스 상태가 하락하였다. 서울서초지구만 패치면적이 증가하여 서비스 하락이 적었다. 고양원흥지구와 서울내곡지구는 서식지 패치면적이 감소하였으나 고양원흥지구의 패치 파편화 정도가 낮아서 전·후평가 결과 서울내곡지구보다 높았다. 개발 후 서식규모의 안정성을 높이기 위해서는 개발 전 서식지 패치면적이 작아 개발 후 서식지패치면적이 적게 감소할수록, 또한 패치 파편화가 적게 일어날수록 전·후평가 결과값이 높아진다.

서식공간의 이질성은 특성이 다른 서식공간의 인접 여부에 영향을 받기 때문에 이를 평가한 지표이다. 획일화된 서식공간이 개발로 인해 다양한 특성을 가진 서식공간으로 변화하는 경우 서식공간의 이질성은 높아진다. 대상지구의 개발로 인한 서식공간의 이질도 면적비율 변화와 이질성에 대한 전·후평가 결과는 그림 IV-20과 같다.

서울서초지구는 개발 전 비닐하우스 위주의 단순한 토지이용형태를 가지고 있어 이질도 0인 서식공간이 80%를 차지하였다. 개발 후 이질도 0인 공간은 40%로 감소하고 공원과 녹지를 조성하여 이질도 높은 서식공간으로 대체함에 따라 전·후평가 결과 이질성이 향상하였다. 서울내곡지구는 개발 전 이질성이 대상지구 중 높았으며 고양원흥지구는 서울내곡지구와 유사한 이질특성을 나타내고 있었다. 하남감일지구는 개발 전 이질도 0인 면적비율이 개발 후 증가하였고 이질도 2인 지역은 감소하여 이질성이 감소하였다. 개발 후 서식공간의 이질성이 높아지기 위해서는 개발 전 토지이용형태가 단순할수록 개발 후 평가결과가 좋아지므로 대상지 선정이 중요함을 알 수 있었다.



(a) 서식공간의 이질도 면적비율



(b) 서식공간의 이질성

그림 IV-20. 서식공간의 이질성 전·후평가

지형보전·복구면적은 대상지구 내에서 개발 전 자연지역 규모와 개발 후 자연 지역 가운데 원형보전지역, 그리고 훼손지복구지역 규모에 영향을 받는다. 훼손지 복구지역은 건축물 등 각종 시설물이 밀집되어 있거나 산재되어 녹지로서 기능을 발휘하기 어려운 지역을 녹지기능을 회복하도록 복구한 지역이다. 서식공간이 신규로 조성되어 서식공간 확대에 기여한 지역으로 볼 수 있다. 이것은 자연지역과 함께 서식지 질을 간접적으로 추정하는데 도움을 준다. 대상지구 개발에 따른 자연지역과 복구면적 변화를 살펴보았다(표 IV-48).

표 IV-48. 대상지구의 자연지역과 훼손지복구면적 변화

(면적: m²)

구분	서울서초		서울내곡		고양원흥		하남감일	
	개발 전	개발 후	개발 전	개발 후	개발 전	개발 후	개발 전	개발 후
자연지역	5,733	-	113,000	-	414,000	-	409,000	-
원형보전지역	-	0	-	107,368	-	0	-	0
훼손지복구면적	-	33,966	-	191,020	-	103,408	-	149,515
생태자연도 2등급지역	0	0	83,414	83,414	318,790	0	286,823	0

서울서초지구는 개발 전 생태자연도 2등급지역이 없고 비닐하우스 등 경작지가 대부분 위치하여 원형 보전할 자연지역에 해당되지 않았다. 개발 후 훼손지복구계획에 따라 녹지공간 등을 조성하여 서식지 질적 개선에 기여하였다고 판단된다. 서울내곡지구는 개발 전 생태자연도 2등급지역보다 더 넓은 자연지역을 포함하고 이를 원형 보전함으로써 개발로 훼손되는 자연지역을 감소하였고, 훼손지역을 복구하여 전·후평가 결과 서비스가 향상되었다. 고양원흥지구와 하남감일지구는 개발 전 생태자연도 2등급지역을 포함한 자연지역이 있었으나 원형보전하지 않았다. 개발 후 훼손지역은 복구하였으나 그 규모가 개발 전 자연지역의 절반보다 작아 전·후평가 결과 서비스가 하락하였다. 개발 후 지형보전·복구면적의 증가를 위해서는 개발 전 자연지역을 적게 포함하거나 포함하는 경우에는 원형보전하고, 개발 후 훼손지는 복구하여 원형보전지역과 훼손지복구지역이 클수록 좋아진다.

4) 문화서비스 평가

문화서비스는 인간의 이용측면을 고려한 생태계서비스로 대상지구 내 생태계를 인간이 인식하고 이용함으로써 얻는 편익을 평가하는 것이 필요하다. 문화서비스 평가는 개발계획단계에서 이루어지므로 실제 참여를 통해 얻는 편익을 측정하기 어렵기 때문에 레크리에이션과 교육활동이 일어나는 공간에 대한 간접적인 방식으로 평가하되 표 IV-49과 같이 평가대상에서 차이를 두었다.

표 IV-49. 문화서비스 평가지표의 평가대상

구분	레크리에이션 활동공간	교육 공간
기준거리	대지(주거지)경계기준 500미터 이내에 있는 녹지공간과 수공간을 포함한 오픈스페이스 * 500미터: 근린생활권 근린공원의 유치거리 적용	학교경계기준 250미터 이내에 있는 녹 지공간과 수공간 * 250미터: 어린이공원의 유치거리 적용
평가 대상의 종류	- 개발 전: 임야내 이용공간(소로), 하천 * 경작지는 작업공간이므로 제외 - 개발 후: 공원(근린, 수변, 소공원), 녹지 (완충, 경관, 저류지), 하천, 공공 공지, 보행자전용도로	- 개발 전: 산림, 경작지(논, 밭, 과수원, 기타재배지 등), 하천 - 개발 후: 공원(근린, 수변, 소공원), 녹지 (완충, 경관, 저류지), 하천
평가내용	- 크기: 레크리에이션 활동공간 면적 - 분포: 활동공간의 분산도 - 형태: 규모와 형태의 다양성	- 규모, 빈도: 근접성(일정거리 이내 면적) - 형태: 잠재성(특성이 다른 공간 종류)

문화서비스 평가지표의 평가결과를 보면, 경관미 지표는 개발 후 서비스 상태가 4개 대상지구 모두 부정적인 영향을 보였으나 그 정도가 미미하고 대상지구 간에 유사한 결과값을 가져 문화서비스 전체평가에서 민감도가 낮게 나타났다.

레크리에이션 항목은 성인이 일상영역 내 이동하고 활동할 수 있는 레크리에이션활동공간을 평가대상으로 하였다. 대상지구 내부에서 표 IV-49과 같이 활동공간의 크기, 규모와 분포를 고려한 분산정도, 그리고 활동공간의 규모와 형태의 다양한 정도에 대하여 면적, 분산도 및 다양성으로 각각 평가하였다.

대상지구 개발에 따른 레크리에이션활동공간면적의 변화는 표 IV-50과 같다. 대상지구 모두 개발 후 주거지 가까이에 위치한 레크리에이션 활동공간이 개발 전보다 큰 폭으로 늘어나 생태계서비스 평가지표 가운데 가장 큰 증가값을 보였다. 서울서초지구는 개발 전 주거지역이 없어 활동공간면적을 0으로 가정하였기 때문에 개발 후 순증만 있었다. 서울내곡지구는 개발 전보다 개발 후 활동공간면적이 3.4배, 고양원흥지구는 6.3배, 하남감일지구는 38.5배가 증가하였다. 본 연구의 전·후평가 결과값이 개발 전보다 개발 후 감소하는 경우에는 -1부터 0까지 범위에 있으나 개발 전보다 증가하는 경우에는 0부터 38.5배 범위로 증가값이 과

대평가되었다. 이것은 개발사업의 규모에 따라 활동공간 면적이 증가하는 산정방식의 오류에 기인한 것인지 표 IV-50과 같이 재검토하였다.

표 IV-50. 레크리에이션활동공간면적 변화

(면적: m²)

구분	서울서초		서울내곡		고양원흥		하남감일	
	개발 전	개발 후	개발 전	개발 후	개발 전	개발 후	개발 전	개발 후
활동공간면적	0	135,837	97,535	332,600	61,871	389,461	13,049	503,060
가구당 활동공간면적 (활동공간면적/가구수)	0	39.49	7.48	25.52	6.92	43.58	1.001	38.60
활동공간면적비 (활동공간면적/전체면적)	0	0.38	0.13	0.43	0.048	0.303	0.008	0.3
전·후평가 (개발 후-개발 전/개발 전)	1		2.4		5.3		37.5	

먼저, 개발계획에서 제시한 대상지내 가구수를 고려하여 개발 전·후 가구당 활동공간면적을 산정하였다. 개발 전의 경우 개발제한구역으로 거주 가구가 극히 제한되어 있기 때문에 개발 전과 개발 후의 상태비교가 어려워 개발 후 가구수를 기준으로 산정하였다. 추가적으로 대상지 전체면적에 대한 레크리에이션활동공간 면적비율을 산정하고 이들을 전·후평가하여 비교하였다. 본 연구에서 적용한 평가의 기본원리는 대상지구 규모 차이에 따른 대상지 간의 평가가 아니라, 각 대상지 내에서 개발 전과 개발 후 상태변화에 바탕을 둔 전·후평가 방식으로써 가구수 또는 면적비율을 고려한 경우에도 동일한 전·후평가 결과를 도출하였다. 이에 따라 대상지별 전·후평가 결과치 격차를 줄이기 위해 전·후평가값에 로그함수를 취하는 표준화방법을 사용하고 그 범위는 0에서 2까지만 허용하였다. 이것은 본 논문에서 적용한 개발 전·후 산정 값 차이에서 개발 전 산정 값을 나눈 전·후 평가방법에 따른 한계라 볼 수 있다.

레크리에이션 활동공간의 분산도 지표는 하나의 레크리에이션 활동공간을 한 패치로 보고 패치 분포가 밀집된 정도를 나타낸다. 각 패치에서 가장 가까운 패치까지 거리의 합과 패치 밀도에 비례하고 패치개수에는 반비례한다. 대상 지구에 적용한 표 IV-51을 보면, 활동공간 패치수와 패치밀도는 개발 후 모든 지구에서

증가하였고, 각 패치에서 가장 가까운 패치까지 거리의 합은 대상지구별 증가 또는 감소하여 차이가 있었다. 서울서초와 서울내곡지구는 증가하였으나 고양원흥지구는 감소하였고, 하남감일지구는 약간 증가하여 분산도 평가에서 영향있는 평가요소임을 알 수 있었다.

표 IV-51. 레크리에이션 활동공간의 분산도 및 다양성 변화

(면적: m², 거리: m)

구분		서울서초		서울내곡		고양원흥		하남감일	
		개발 전	개발 후	개발 전	개발 후	개발 전	개발 후	개발 전	개발 후
분산도	공간의 패치수	0	32	12	62	30	69	14	183
	각 패치에서 가장 가까운 패치까지 거리의 합	0	46	144	285	551	265	462	499
	공간의 패치밀도 (10km ² 당 패치수)	0	885	158	817	234	538	83	1,085
다양성	공간의 분산	0	0.03	0.001	0.04	0.072	0.056	0.11	0.056
	공간의 표준편차	0	0.174	0.03	0.2	0.268	0.238	0.332	0.238
	다양성(1-표준편차)	0	0.826	0.97	0.8	0.732	0.762	0.668	0.762

다양성 지표는 활동공간 규모가 분포되어 있는 형태를 평가하며 활동공간의 표준편차가 작은 경우 활동공간이 고루 분포하고 있음을 나타낸다. 서울내곡지구는 개발 전 활동공간 크기가 고루 분포하여 다양성이 컸으며 개발 후 다양성이 감소하였다. 서울서초지구는 개발 후 활동공간만 있어 다양성이 증가하였고, 고양원흥과 하남감일지구도 다양성이 증가하였다.

개발 후 레크리에이션 활동공간은 전체 면적이 크고, 공간의 패치수는 작으며 각 패치에서 가장 가까운 패치까지 거리는 멀수록, 활동공간 크기는 작은 구조와 큰 구조가 고루 분포되어 있을수록 레크리에이션활동공간면적, 분산도 및 다양성 지표의 평가결과값이 좋아진다.

교육항목은 표 IV-49과 같이 대상지내 학교경계를 기준으로 교육행위가 일어날 수 있는 생태공간을 평가대상으로 하였다. 학교와 가까이에 위치한 교육공간의 크기와 종류에 대하여 근접성과 잠재성으로 각각 평가하였다. 교육항목에 대

한 평가결과, 서울서초지구만 개발 후 대상지내 교육공간 면적이 증가하였고 다른 3개 지구는 감소하였다. 특성이 다른 교육공간의 종류 또한 서울서초지구는 개발 전과 개발 후가 같았으나 다른 지구는 감소하였다. 문화서비스는 개발 후 서비스가 증가하였으나 교육항목의 근접성과 잠재성 지표는 부정적 영향이 나타났다. 교육공간에 대해서는 교육행위가 일어날 수 있는 공간 크기는 클수록, 특성이 다른 교육공간 종류가 많을수록 생태계서비스에 미치는 긍정적인 영향이 커진다고 볼 수 있다.

5) 평가결과 종합

지금까지 보금자리주택지구 개발계획을 대상으로 생태계서비스 평가모형을 적용하여 평가하였다. 그 결과를 종합하여 평가모형이 가지는 효용성에 대하여 고찰하였다.

(1) 생태계서비스 전·후평가

택지개발사업 시행 이후 생태계서비스가 향상할 수 있도록 본 연구 결과인 생태계서비스 평가모형을 활용하였다. 선행연구에서 살펴보았던 기존 도시 또는 단지 내 지속성지표와 생태계서비스 평가모형을 구성하는 지표를 비교하여 생태계서비스 평가의 차이점과 특징을 도출하였다(표 IV-52).

생태계서비스 평가지표와 기존 지속성지표의 평가영역을 기준으로 비교하였다. 일부 지속성지표는 생태계서비스 평가지표와 연관성을 찾을 수 있었다. 서비스 유형별로 연관 있는 지표들을 보면, 공급서비스에는 침투량, 생태1·2등급권역이 있었다. 조절서비스에는 수·녹지면적, 수질오염정화능, 투수성지반면적 등이 있었다. 지원서비스에는 서식규모의 안정성과 지형보전·복구면적이 있었다. 문화서비스는 기존 연구에서 거의 다루지 않아 다른 유형의 서비스에 비해 연관성이 가장 낮았으며 레크리에이션활동공간면적과 근접성 지표는 연관성이 있었다. 생태

계서비스 평가지표와 기존 연구에서 연관있는 지표수는 2개부터 8개다. 이 결과 값은 생태계서비스 평가지표(20개)의 절반에도 미치지 못하여 기존 지표로써 생태계를 평가하기에는 한계가 있음을 알 수 있었다.

표 IV-52. 생태계서비스 평가지표와 기존 지표의 연관성

구분	아파트단지, 지속성지표		주거단지, 지속성 계획요소		신도시/생태도시 지속성/계획지표		공동주택 평가기준	개발단지 환경영향 평가지수
생태계서비스 평가지표	양병이. 이관규 (2002)	이관규 (2003)	박원규 (2002)	이규인 (2003)	변병설. 주용준 (2000)	이재준 (2005)	이규인. 김민석 (2010)	유현석 등 (2011)
연관지표수 (전체지표수)	4 (26)	4 (10)	8 (55)	2 (12)	5 (22)	6 (30)	6 (18)	4 (11)
농산물생산량							●	
침투량			●				●	
식물현존량								●
생태 1,2등급 권역	●					●	●	●
대기오염물질흡수량								
수·녹지면적	●		●	●	●	●	●	●
탄소저장량		●						
활엽수·혼효림면적								
투수성지반면적		●	●					
수질오염정화능			●		●	●	●	●
완경사지피복면적								
서식규모의 안정성	●	●	●		●	●		
서식공간의 이질성								
지형보전·복구면적	●	●	●		●	●	●	
경관미						●		
레크리에이션 활동공간면적			●		●			
분산도								
다양성								
근접성			●	●				
잠재성								

주. 생태계서비스 평가와 연관성이 낮은 지표로는 단지내 포장설계, 조경설계, 건축설계 후 평가 가능하거나 에너지, 교통, 단지배치, 인공시설물, 환경기준, 자원순환 등에 대한 지표임

또한 지속성지표들의 평가요소와 방법을 기준으로 보면, 지속성지표들은 단지 또는 도시 내 친환경성을 표방하고 있으나 생태계를 포함한 자연환경분야 이외 에너지, 교통, 단지 배치 등 다른 분야까지 포함하고 있어 생태계 평가지표로서는 적절하지 않다. 평가방법에 있어서도 환경영향평가단계에서 사용할 수 있는 자료 범위를 벗어나 건축물 설계, 상세조경설계, 운영단계 자료까지 사용하여 환경영향 평가단계에서 적용하기에 부적합하였다. 가장 큰 차이점은 개발 전과 개발 후의 상태변화를 비교한 본 연구와 달리 전·후평가가 아니라 개발 전 또는 개발 후 상태평가에 머무르고 있어 개발에 따른 영향을 제시하기 어렵고 구체적이지 못한 편이다.

사례지구에서 생태계가 인간에게 제공하는 혜택을 최대화하기 위한 평가요소와 개발형태를 제시하기 위하여 생태계서비스 평가모형을 적용하였다. 그 결과 긍정적 영향을 준 지표와 대상지구의 특성들을 도출하였다(표 IV-53). 공급서비스 평가에서 긍정적 영향을 준 지표는 식물현존량과 생태1·2등급권역 2개였으며, 조절서비스는 수질오염정화능, 환경사지피복면적, 활엽수·혼효림면적 3개 지표였다. 지원서비스는 지형보전·복구면적과 서식공간의 이질성으로 2개 지표였고, 문화서비스는 레크리에이션활동공간면적, 분산도, 다양성, 근접성 4개 지표였다. 이들 지표들에 대해 전문가 자문을 거쳐 기존 지속성지표와 연관성을 비교하였다.

대상지구의 특성과 비교하면, 서울서초지구는 다른 지구와 다르게 개발로 인해 생태계서비스가 증진되었다. 자연지역 면적이 극히 작고(1.6%), 비닐하우스 경작지로 구성되어 이질성이 낮은 생태공간을 가지고 있었다. 개발 후에는 공원, 녹지, 습지의 다양한 생태공간이 조성되고 훼손지가 복구되어 교목활엽수 등 식생이 증가하였다. 그 외 지구에서 개발 후 생태계서비스는 감소하였지만 긍정적 영향을 준 특성을 보면, 하남감일지구는 개발 전 하상이 협소하고 면적이 작은 하천의 선형을 유지하면서 개발 후 자연형 하천으로 정비하였고 조림지가 대폭 늘어났다. 서울내곡지구는 개발 전 임야지역을 원형보전한 상태에서 훼손지복구계획을 수립하고 자연친화적 하천 정비와 습지를 조성하였다. 4개 지구 모두 공통적으로 인간의 이용측면을 고려한 레크리에이션 항목의 서비스는 증가하였다.

표 IV-53. 사례대상지의 생태계서비스 평가에서 긍정적 영향이 큰 특성

생태계 서비스 유형	지표	보급자리주택지구별 특성	단지 지속성 지표 ¹⁾	단지 지속성 계획 요소 ²⁾	평가 기준/평가 지수 ³⁾
		개발 전 → 개발 후			
공급	식물현존량	· (서울서초) 농경지 위주 식생 · (하남감일) 농경지, 초원, 조림지, 2차림(I) 분포	· 조림지 조성으로 식생 증가 · 농경지, 초원, 2차림(I) 감소 하였으나 조림지 대폭 증가		○
	생태1·2등급 권역	· (서울내곡) 생태자연도 2등급, 3등급지역	· 생태적 가치 고려한 원형보전지역계획	○	◎
조절	수질오염 정화능	· (서울서초) 소하천 1개(6.5천m) · (하남감일) 하상이 매우 협소하고 면적이 매우 적음(0m) · (서울내곡) 소하천 4개(28천m)	· 자연친화적 소하천 정비(17천m), 습지(유수지) 조성(7천m) · 하천 선형유지 및 자연형 하천으로 정비(23,709m) · 자연친화적 소하천 정비(48천m), 습지(저류지) 조성(2천m)	○	◎
	환경사지피복면적	· (서울서초, 하남감일) 경사 10° 이하 피복지역(논, 밭)이 개발 후보다 적음	· 경사 10° 이하 피복지역(공원 녹지)이 개발 전보다 증가		
	활엽수, 혼효림면적	· (서울서초) 교목활엽수와 혼효림지역 없음	· 공원, 녹지 등 조성으로 교목활엽수 도입		
지원	지형보전, 복구면적	· (서울서초) 자연지역면적(임야) 극히 낮은 비중 차지(1.6%) · (서울내곡) 임야면적 113천m	· 훼손지를 공원·녹지로 조성하여 복구(10.6%) · 원형보전(107천m)과 훼손지 복구(84천2m)	◎	○
	서식공간의 이질성	· (서울서초) 전과 답 76%, 비닐하우스 위주 단순한 생태공간	· 공원, 녹지, 습지와 하천의 다양한 생태공간 조성으로 이질성 증가		
문화	레크리에이션 활동공간 면적	· (서울서초) 주거지역이 없어 일상영역내 레크리에이션 활동공간 보유하지 않음	· 레크리에이션 활동공간 조성으로 인간이 이용할 수 있는 새로운 서비스 제공	○	
	분산도	· (하남감일, 서울내곡, 고양원흥) 일부 레크리에이션 이용가능 지역 포함	· 이용가능지역 확대		
	다양성				
	근접성	· (서울서초) 교육가능 생태공간이 개발 후보다 적게 보유	· 교육시설 주변 교육가능한 생태공간 1.5배 증가	◎	

주. 1)단지규모의 지속성지표: 양병이와 이관규(2002), 이관규(2003)

2)단지규모, 지속성 계획요소: 박원규(2002), 이규인(2003)

3)주택규모 평가기준, 개발사업 환경영향평가지수: 이규인과 김민석(2010), 유현석 등(2011)

◎: 2개 연구 모두 해당, ○: 1개 연구 해당

보금자리주택지구 개발사업에서 생태계서비스 평가에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 사업대상지의 개발 전 상태라고 할 수 있다. 예를 들어 서울서초지구와 같이 자연지역이 적고 식생이 단순하며 훼손지가 포함된 지역을 향후 사업대상지로 선정하면 생태적 가치를 높일 수 있어 생태계서비스가 크게 향상된다. 그러나 서울내곡지구와 같이 임야지역을 포함하는 경우에는 최대한 원형보전을 하더라도 생태계서비스 측면에는 부정적 영향을 끼치게 된다. 개발사업의 내용 측면에서는 하상이 협조하고 면적이 작은 하천은 선형을 유지하면서 자연친화적 하천으로 정비하고 습지를 조성할 필요가 있다. 훼손지복구를 포함하여 공원과 녹지를 조성하는 경우에는 다양한 생태공간을 조성하여 이질성을 높이고 교목활엽수 등 식생을 조성하는 것이 바람직 할 것으로 보인다. 아울러 인간이 이용하는 활동공간에 대한 측면도 고려하여야 할 것이다.

사례대상지에서 생태계서비스에 부정적 영향을 끼친 지표들은 서식규모의 안정성, 농산물생산량, 탄소저장량, 대기오염흡수량, 수·녹지면적, 그리고 투수성지반면적 등 6개 지표였다(표 IV-54).

표 IV-54. 사례대상지의 생태계서비스 평가에서 부정적 영향이 큰 특성

지표	지구별 특성	공통 특성
서식규모의 안정성	· (서울서초, 하남감일) 서식지면적 증가하였으나 패치 개수 증가 · (서울내곡, 고양원흥) 서식지면적 자체 감소	· 서식지패치 평균크기가 절반이상 감소
농산물생산량	· (4개 지구) 개발 전에 전과 답에서 농산물을 생산하였으나 개발 후 생산 없음	· 전과 답 조성계획 없음
탄소저장량	· (서울서초) 개발 전 식생의 탄소저장량 없음 · (서울내곡, 고양원흥, 하남감일) 개발 후 식생 훼손으로 식생의 탄소저장량 감소	· 토양의 탄소저장량 감소
* 그 외 대기오염물질흡수량, 수·녹지면적, 투수성지반면적이 4개 지구 모두 개발 후 감소		

특히 서식규모의 안정성 지표는 4개 지구 모두 개발로 인해 가장 큰 영향을 받았다. 전체 서식지면적이 증가하여도 서식지패치 개수가 증가하면 서식지크기가 작아져서 결국 서식지평균크기가 감소하였다. 또한 식생 감소로 인해 대기오염물질흡수량, 투수성지반면적 등 조절서비스 기능이 전반적으로 낮아지는 점은 향후

개발계획 수립 시 고려하여야 할 요소이다. 아울러 도시의 생산기능을 높이기 위해서는 공원 녹지의 조성뿐만 아니라 비록 규모가 작더라도 도시농업을 도입하는 것도 고려할 수 있을 것이다.

(2) 생태계서비스 우선 고려 지표

보금자리주택지구에 생태계서비스 평가모형을 적용하고 생태계서비스 상태가 증가 또는 감소로 차이나는 요소들을 도출하였다(표 IV-55). 실제 평가모형을 적용함에 있어 사업별, 대상지별 사정에 따라 모든 영향요소를 고려하기에는 현실적 어려움이 따를 것으로 예상되어 개발계획에서 우선적으로 고려할 지표를 제시하는 것이 필요하다. 우선 적용이 필요한 지표를 판단하는 기준은 평가지표 중요도(표 III-26)와 평가모형 결과값에 미치는 민감한 영향으로 하였다. 여기서 민감하게 반응한 지표는 생태계서비스 평가결과 최대값과 최소값의 차이가 큰 상위 10개 지표와 대상지구에 따라 긍정적 또는 부정적 영향이 나타난 지표라고 보았다.

우선 적용이 필요한 지표를 추출하기 위해 분석한 결과 4개 그룹으로 구분하였다. I 그룹(5개)은 중요도가 높고 대상지구 간의 평가결과값에 민감하게 반응한 지표로써 식물현존량, 생태1·2등급권역, 탄소저장량, 활엽수·혼효림면적, 그리고 지형보전·복구면적이었다. II 그룹(5개)은 중요도는 높으나 결과값에 대한 민감도가 낮게 나타난 지표로써 농산물생산량, 대기오염물질흡수량, 수·녹지면적, 투수성지반면적, 서식지규모의 안정성으로 구성되었다. III 그룹(8개)은 중요도는 낮으나 결과값에 대한 민감도가 높은 지표로써 수질오염정화능, 환경사지피복면적, 서식공간의 이질성, 레크리에이션활동공간면적, 분산도, 다양성, 근접성, 잠재성으로 구성되었다. 대부분 문화서비스 평가지표가 III 그룹에 해당한다. IV 그룹(2개)은 중요도도 낮고 결과에 미치는 영향력도 낮은 침투량과 경관미가 있었다.

I 그룹 평가지표는 공급서비스 지표 2개와 조절서비스 지표 3개가 있었다. 1 그룹 평가지표를 대상지구에 적용하여 전·후평가 결과를 종합하였다(표 IV-56). 개발 전 대상지 내 생태현황을 파악하여 식물현존량은 2차림(I)과 조림지, 생태

표 IV-55. 생태계서비스 평가에서 영향요소

평가지표	영향 요소	중요도 수준 ¹⁾	결과에 민감한정도 ²⁾	우선 고려 구분 ³⁾
농산물생산량	· 전과 답의 면적 · 작물(식량작물, 채소류, 특용 작물) 생산량	○		Ⅱ
침투량	· 토양의 수문학적 특성, 토지이용			Ⅳ
식물현존량	· 2차림, 조림지, 농경지 등 현황	○	○	Ⅰ
생태1·2등급권역	· 생태자연도 2등급면적 · 원형보전지역	○	○	Ⅰ
대기오염물질흡수량	· 식생(활엽수림, 침엽수림, 관목) 흡수량 · 활엽수림 면적 비율	○		Ⅱ
수·녹지면적	· 수역과 녹지공간의 미기후조절능	○		Ⅱ
탄소저장량	· 식생과 토양의 탄소저장능 · 활엽수에 의한 탄소저장량	○	○	Ⅰ
활엽수·혼효림면적	· 활엽수와 혼효림의 산사태와 홍수 억제능	○	○	Ⅰ
투수성지반면적	· 토양과 식생의 물순환기능	○		Ⅱ
수질오염정화능	· 하천과 습지의 수질정화기능 · 자연형 비점오염저감시설 효율		○	Ⅲ
완경사지피복면적	· 토지의 경사도와 피복여부 · 토지이용형태		○	Ⅲ
서식규모의 안정성	· 서식지 패치면적, 패치개수, 서식지 파편화 · 서식지 패치 평균면적	○		Ⅱ
서식공간의 이질성	· 인접해 있는 이질적인 서식공간		○	Ⅲ
지형보전·복구면적	· 자연지역, 원형보전지역 · 훼손지복구지역	○	○	Ⅰ
경관미	· 대상지의 중경, 자연경관			Ⅳ
레크리에이션 활동공간 면적	· 활동공간의 규모		○	Ⅲ
분산도	· 활동공간의 분포가 밀집된 정도 · 활동공간의 패치수, 가장 가까운 패치까지 거리, 패치밀도		○	Ⅲ
다양성	· 활동공간 규모와 분포형태		○	Ⅲ
근접성	· 교육시설에 인접한 교육공간		○	Ⅲ
잠재성	· 교육공간의 종류		○	Ⅲ

주. 1)중요도 수준은 평가지표의 가중치 산정결과 상위10개 지표임

2)결과에 민감한 정도는 생태계서비스 평가결과 민감하게 반응하여 평가값에서 최대값과 최소값의 차이가 큰 상위 10개 지표와 긍정/부정적 영향이 나타난 지표임

3)우선고려구분은 각 지표의 중요도와 대상지구 평가결과에 민감하게 반응한 지표를 비교하여 선정

Ⅰ: 중요도 높고 민감하게 반응, Ⅱ: 중요도 높고 민감한 영향 미미, Ⅲ: 중요도 낮고 민감하게 반응,

Ⅳ: 해당없음

1·2등급권역은 생태자연도 2등급지역, 탄소저장량은 교목과 관목, 특히 활엽수 현황, 활엽수·혼효림면적은 활엽수지역면적, 지형보전·복구면적은 자연지역을 각각 최소한으로 포함하도록 개발 대상지를 선정하는 것이 최적 안이 될 수 있다. 만일 현지 사정에 따라 최적 안의 선정방법을 적용할 수 없다면 평가모형을 적용하여 전·후평가값이 높게 나온 대상지를 선택하는 것도 좋은 방법이다.

표 IV-56. I 그룹 생태계서비스 평가지표

서비스 유형	평가지표	대상지구 적용결과
공급	식물현존량	<ul style="list-style-type: none"> · 조림지와 2차림(I) 포함정도에 따라 서비스에 영향 ※ 현존량비율 = 자연림 : 2차림(I) : 조림지 : 2차초원(I) : 농경지(논,밭) = 100 : 5.1 : 5.6 : 1.3 : 1.4 (표 III-11, 김지영 등 2002 참조) · (개발 전) 2차림을 포함하지 않음 <서울서초, 서울내곡>* · (개발 후) 2차림 포함시 식생 유지 <고양원흥> 조림지 조성시 농경지나 2차초원 감소분 상쇄<하남감일>
	생태1·2등급 권역	<ul style="list-style-type: none"> · 생태자연도 2등급지역, 원형보전지역이 서비스에 영향 · (개발 전) 2등급지역 포함하지 않음 <서울서초> · (개발 후) 2등급지역 포함시 원형보전 <서울내곡> ※ 서비스 측면에서 2등급지역을 포함하고 원형 보전하는 것이 유리: 서울서초보다 서울내곡지구가 전·후평가 결과 높음
조절	탄소저장량	<ul style="list-style-type: none"> · 식생의 탄소저장능이 토양보다 서비스에 미치는 영향 큼 ※ 식생 유형 중 활엽수에 의한 탄소저장량 84~98% 차지. 토양 저장량은 대상지구별 유사(이관규 2003; 황상일과 박선환 2011 참조) · (개발 전) 식생의 탄소저장량이 낮을수록 좋음. 활엽수림 적게 포함 할수록 유리<서울서초>
	활엽수·혼효림 면적	<ul style="list-style-type: none"> · 활엽수지역 면적이 서비스에 영향 · (개발 전) 활엽수 면적이 적음<서울서초> · (개발 후) 활엽수 면적 커질수록 유리
	지형보전·복구 면적	<ul style="list-style-type: none"> · 자연지역, 원형보전지역과 훼손지복구지역이 서비스에 영향 · (개발 전) 자연지역 적게 포함<서울서초> · (개발 후) 자연지역 포함시 원형보전 <서울내곡> 훼손지는 복구면적 커질수록 유리 <서울내곡>

* < >안의 대상지구는 생태계서비스 평가모형을 적용한 결과 도출된 사례 지구임

본 연구의 생태계서비스 평가는 개발계획에 대한 대안과 비교하여 서비스 측면에서 최적 안을 선정하도록 지원하는데 그 의미가 있다. 개발 전보다 개발 후 서비스 향상을 위해 전·후평가 결과값이 양(+)의 값이거나 음(-)의 값인 경우에도

0에 근접하여 긍정적인 영향이 미치도록 유도하는 것이 바람직하다. 그러나 개별 지표마다 전·후평가 결과를 최대화하는 것은 현실적인 제약으로 실현하기 어렵기 때문에 평가결과에 영향력이 큰 지표부터 고려해 볼 수 있을 것이다. 이에 따라 I 그룹 평가지표의 전·후평가 결과에서 영향력이 큰 지형보전·복구면적, 활엽수·혼효림면적, 그리고 식물현존량 지표를 우선 고려하되(그림 IV-21), 각 사업별 대상지별 현지조건을 반영하여 최적의 방안을 모색하는 것이 타당하다.

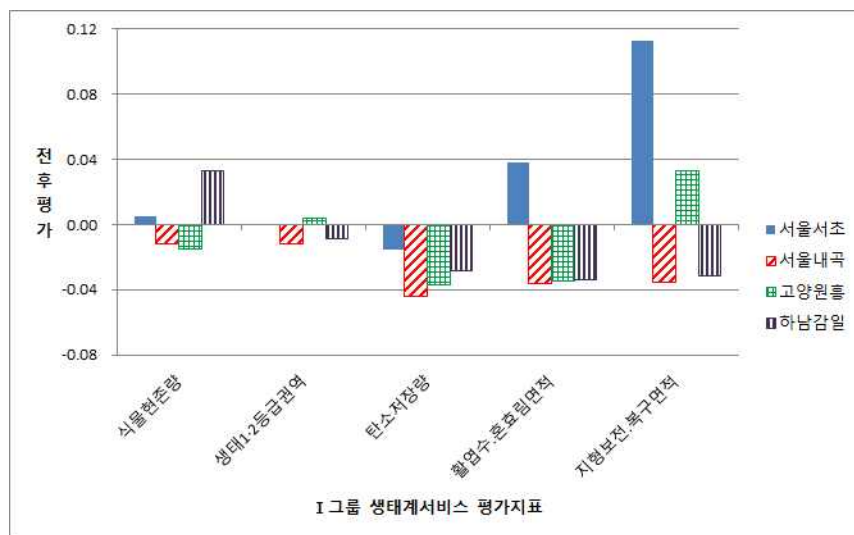


그림 IV-21. I 그룹 생태계서비스 평가지표의 전·후평가

또한 한정된 개발대상지 공간에서 개발 목적의 달성과 함께 서비스 향상을 도모토록 하여 생태공간에 대한 효율을 높이하고자 할 경우, 개발 후 생태공간을 개선하는 것은 제약이 따를 수밖에 없으므로 개발 전 대상지역 상태가 중요하다고 판단된다. 이것은 개발대상지 선정에서 여러 대안에 대한 생태계서비스 평가를 통해 최적의 대안을 도출하는 것이 효과적임을 보여주고 있다.

II 그룹 평가지표는 공급서비스 지표 1개, 조절서비스 지표 3개, 그리고 지원서비스 지표 1개가 있었다. II 그룹 평가지표를 대상지구에 적용하여 전·후평가 결과를 종합하였다(표 IV-57).

표 IV-57. 표그룹 생태계서비스 평가지표

서비스 유형	평가지표	대상지구 적용결과
공급	농산물생산량	<ul style="list-style-type: none"> · 농경지 면적이 서비스에 영향 · (개발 후) 도시농업 고려하여 텃밭 등 조성계획
조절	대기오염물질 흡수량	<ul style="list-style-type: none"> · 활엽수림이 서비스에 영향 ※ 흡수량비율 = 활엽수림 : 침엽수림 : 관목 : 초본 = 100 : 35 : 20 : 10 (표 III-14, 국립환경연구원 1997 참조) · (개발 전) 식생지역 적게 포함(특히 활엽수) <서울서초>* · (개발 후) 활엽수림 중심 식재가 유리
	수·녹지면적	<ul style="list-style-type: none"> · 녹지면적이 서비스에 영향 ※ 녹지면적 기여율 80% 이상 차지 (표 IV-40) · (개발 전) 수공간 적게 포함 <하남감일> · (개발 후) 녹지공간 면적 감소를 최소화 <고양원흥>
	투수성지반 면적	<ul style="list-style-type: none"> · 하천, 임야 등 자연지역이 서비스에 영향 ※ 투수성지반 면적계수 = 자연지역 : 농경지 : 조경녹지 = 1.0 : 0.8 : 0.7 (표 III-18, 이관규 2003; 이우성 2010; 환경부 2011 참조) · (개발 전) 자연지역 적게 포함 <하남감일> · (개발 후) 자연지역 감소 최소화 <고양원흥>
지원	서식규모의 안정성	<ul style="list-style-type: none"> · 서식지 패치면적, 패치개수가 서비스에 영향 · (개발 전) 서식지 패치 평균면적 적게 포함 <서울서초> · (개발 후) 서식지 패치 평균면적 증가 <서울서초> 파편화 적게 일어날수록 유리 <서울내곡>

* < >안의 대상지구는 생태계서비스 평가모형을 적용한 결과 도출된 사례 지구임

개발 전 대상지 생태현황을 파악하여 대기오염물질흡수량은 활엽수지역, 수·녹지면적은 녹지지역, 투수성지반면적은 자연지역, 서식규모의 안정성은 서식지패치면적을 각각 최소로 포함하는 지역을 개발 대상지로 선정하는 것이 최적 안이 된다고 할 수 있다. 여기서 공급서비스인 농산물생산량을 늘리기 위해 녹지를 농경지로 전환하면 녹지의 조절기능이 저하될 우려가 있다. 다양한 생태계서비스 중 어느 하나를 우선하면 다른 서비스와 충돌이 발생할 수 있고 어느 것이 더 좋다고 단정하기 어려우므로 생태계서비스 간에 최적의 균형을 조화롭게 가질 수 있을지 밝히는 것이 필요하다고 할 것이다.

Ⅱ그룹 평가지표의 전·후평가 결과를 보면(그림 IV-22), 대상지구 간 전·후평가 결과에서 차이를 보이는 서식규모의 안정성, 대기오염물질흡수량 지표를 우선 고려하되 I 그룹과 달리 지표들 간의 영향력 차이가 크지 않아 지표별 전·후평가 결과를 종합하여 각 사업별 대상지별 현지조건을 반영하여 최적 안을 도출하는 것이 필요하다고 판단된다.

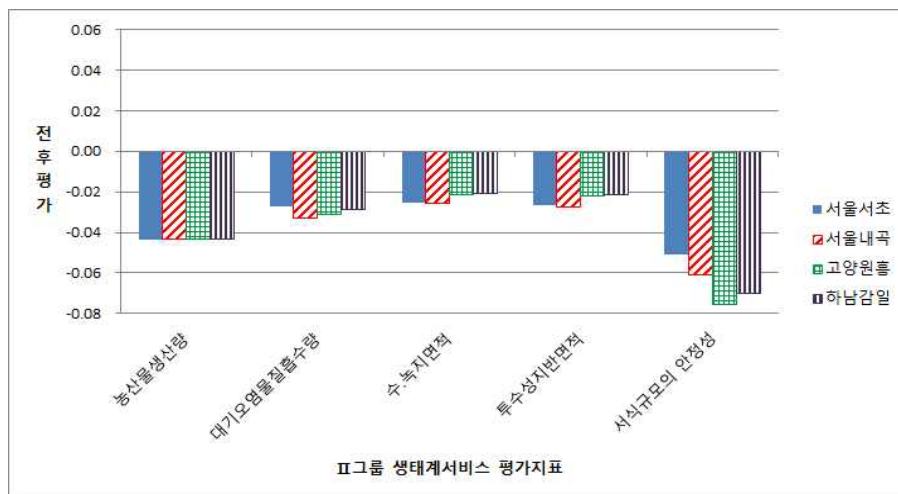


그림 IV-22. Ⅱ그룹 생태계서비스 평가지표의 전·후평가

Ⅲ그룹 평가지표는 조절서비스 지표 2개, 지원서비스 지표 1개, 그리고 문화서비스 지표 5개가 있었다. Ⅲ그룹 평가지표를 대상지구에 적용하여 전·후평가 결과를 종합하였다(표 IV-58). 개발 전 대상지구의 생태현황을 파악하여 생태계서비스 측면에서 볼 때 개발 대상지로 바람직한 평가지표별 내용을 종합하였다. 최적안을 선정하기 위해서는 다음과 같은 점이 고려되어야 한다. 즉, 수질오염정화능은 하천과 습지면적을, 그리고 환경사지피복면적은 임야 등 산림지역을 각각 적게 포함하여야 하고, 서식공간의 이질성은 토지이용형태가 단순해야 한다. 또한 레크리에이션활동공간면적과 분산도는 활동공간패치면적을 최소로 포함하되 각 패치에서 가장 가까운 패치까지 거리는 최대여야 한다. 근접성과 잠재성은 교육공간이 적으면서 특성이 단순한 지역을 선택하여야 한다.

표 IV-58. Ⅲ그룹 생태계서비스 평가지표

서비스 유형	평가지표	대상지구 적용결과
조절	수질오염 정화능	<ul style="list-style-type: none"> · 하천과 습지면적이 서비스에 영향 ※ 자연형 비점오염저감시설 효율이 영향(표 Ⅲ-20) · (개발 전) 하천과 습지면적 적게 포함<서울서초, 서울내곡, 하남감일>* · (개발 후) 하천과 습지면적 증가 <서울서초, 서울내곡, 하남감일>
	환경사지피복 면적	<ul style="list-style-type: none"> · 토지이용에 따른 토양유실률이 서비스에 영향 ※ 토양유실률(개발 전) = 나지 : 산림 : 논 : 밭 = 1 : 0.003 : 0.06 : 0.26 (개발 후) = 자연지반녹지 : 공원(조성녹지) = 0.01 : 0.09 (표 Ⅲ-22, 환경부 2004 참조) · (개발 전) 산림지역, 경사도 10°이하 피복면적 적게 포함<서울서초, 하남감일> · (개발 후) 경사도 10° 이하 피복면적 증가 <서울서초, 하남감일>
지원	서식공간의 이질성	<ul style="list-style-type: none"> · 토지이용형태가 서비스에 영향 · (개발 전) 비닐하우스 위주 동질의 토지이용형태 <서울서초> · (개발 후) 토지이용형태 다양화 <서울서초>
문화	레크리에이션 활동공간면적	<ul style="list-style-type: none"> · 주거지 인근 활동공간이 서비스에 영향 · (개발 전) 주거지 적게 포함 <서울서초> · (개발 후) 활동공간 증가<서울서초, 서울내곡, 고양원흥, 하남감일>
	분산도	<ul style="list-style-type: none"> · 활동공간의 패치 수에 반비례, 각 패치에서 가장 가까운 패치까지 거리와 패치밀도에 서비스 영향은 비례 · (개발 전) 활동공간 패치 수 적게 포함 <서울서초, 하남감일> · (개발 후) 각 패치에서 가장 가까운 패치까지 거리 합이 클수록 유리 <고양원흥>
	다양성	<ul style="list-style-type: none"> · 활동공간 규모의 분포형태가 서비스에 영향 · (개발 전) 활동공간의 크기가 고루 분포 <서울내곡> · (개발 후) 큰 구조와 작은 구조가 고루 분포할수록 유리
	근접성	<ul style="list-style-type: none"> · 학교 가까이 위치한 교육공간이 서비스에 영향 · (개발 후) 교육행위가 일어날 수 있는 공간 증가 <서울서초>
	잠재성	<ul style="list-style-type: none"> · 특성이 다른 교육공간의 종류가 서비스에 영향 · (개발 후) 교육공간의 종류 증가 <서울서초>

* < >안의 대상지구는 생태계서비스 평가모형을 적용한 결과 도출된 사례 지구임

Ⅲ그룹 평가지표의 전·후평가 결과 대상지구 간의 평가값에 차이를 보인 수질 오염정화능, 환경사지피복면적, 서식공간의 이질성, 근접성 지표를 우선 고려하되 (그림 IV-23), 지표별 전·후평가 결과를 종합하여 각 사업별 대상지별 현지조건을 반영하여 최적 안을 도출하는 것이 필요하다고 판단된다.

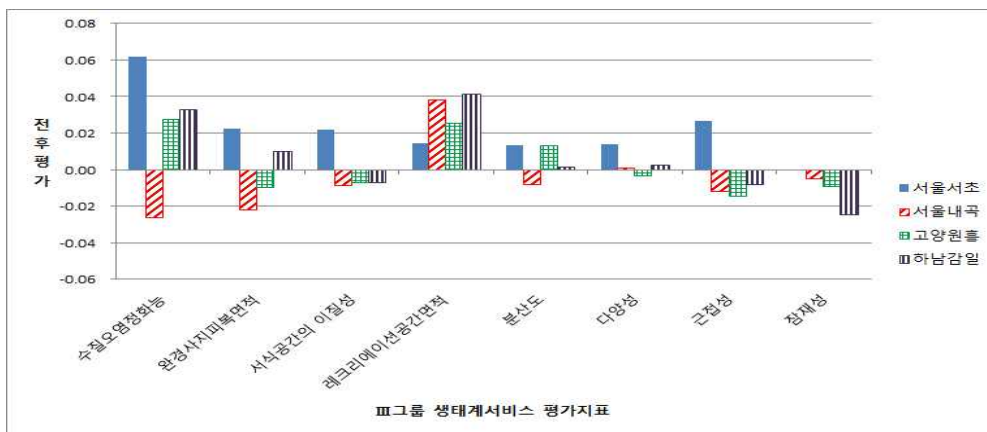


그림 IV-23. III그룹 생태계서비스 평가지표의 전·후평가

IV그룹 평가지표는 공급서비스와 문화서비스 각 1개 지표가 있었다. IV그룹 평가지표를 대상지구에 적용하여 전·후평가 결과를 종합하였다(표 IV-59). 침투량과 경관미는 대상지구에 부정적 영향을 끼쳤으나 지구별 영향력 차이가 크지 않았다(그림 IV-24).

표 IV-59. IV그룹 생태계서비스 평가지표

서비스 유형	평가지표	대상지구 적용결과
공급	침투량	<ul style="list-style-type: none"> 강수량과 유출량(유출곡선지수)이 서비스에 영향 (개발 전) 토지이용에 따른 유출곡선지수(CN) 값이 높은 지역을 많이 포함할수록 유리
문화	경관미	<ul style="list-style-type: none"> 가시공간 중 자연공간면적 비율(중경사진)이 서비스에 영향 (개발 후) 하늘공간과 자연공간 보유면적 감소 최소 <하남감일>



그림 IV-24. IV그룹 생태계서비스 평가지표의 전·후평가

(3) 토지이용과 생태계서비스 평가

대상지구의 개발계획에 대한 생태계서비스 평가모형을 적용하여 평가한 결과 토지이용현황과 토지이용계획이 중요하게 작용하고 있음을 알 수 있었다. 이에 생태계서비스를 제공하는 생태공간인 녹지에 대하여 녹지의 양적, 질적 측면에서 토지이용계획과 생태계서비스 전·후평가 결과를 종합적으로 고찰하였다.

④ 녹지의 양적 측면과 생태계서비스

대상지구 개발계획에서 공원녹지가 생태계서비스 평가에 미치는 영향에 대하여 살펴보았다. 개발 후 공원녹지비율과 생태계서비스 전·후평가 결과를 비교한 결과, 공원녹지비율이 높은 지구는 서울내곡지구이었고 생태계서비스 전·후평가 결과치가 높은 지구는 서울서초지구로 서로 일치하지 않았다(그림 IV-25).

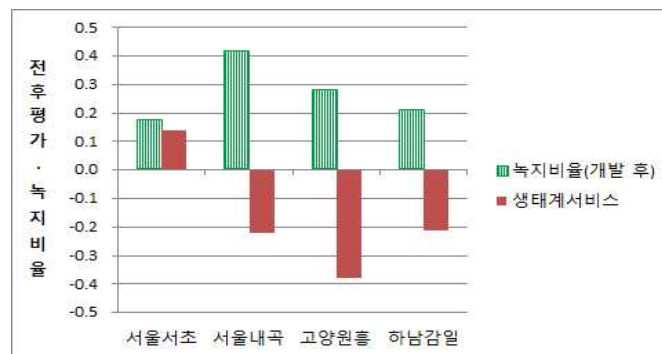


그림 IV-25. 개발 후 녹지비율과 생태계서비스의 전·후평가

개발 후 전체 대상지면적에서 공원녹지가 차지하는 비율은 고양원흥지구가 27.8%로 대상지구의 평균수준이며, 고양원흥지구 공원녹지비율을 1로 볼 때 서울내곡지구는 1.5배(41.6%), 서울서초지구는 0.6배(17.5%), 하남감일지구는 0.75배(20.8%)였다. 생태계서비스 전·후평가 결과는 고양원흥지구가 -0.38로 대상지구 중 최소였고, 서울서초지구는 0.14로 최대였다. 서울내곡지구와 하나감일지구는 각각 -0.22와 -0.21로 생태계서비스 전·후평가 평균 -0.17보다 낮았으며 하남감일지구가 평균치에 가장 근접하였다.

이에 기초하여 개발 후 생태계서비스는 대상지구의 평균 수준인 하남감일지구 이상 유지하는 것이 필요하다고 판단된다. 다만, 본 연구는 4개 지구만을 대상으로 하였기 때문에 더 많은 사례연구를 통해 일반화된 기준설정이 가능하다 할 것이다. 또한 개발 후 서울내곡지구와 같이 녹지비율을 확대하여도 생태계서비스가 증가하지 않은 경우도 있었다.

개발 전·후 녹지면적 변화와 생태계서비스 전·후평가 결과를 비교하여 개발지구 녹지형태에 따른 서비스 특성을 살펴보았다(그림 IV-26).



그림 IV-26. 녹지면적과 생태계서비스의 전·후평가

대상지구에 대한 녹지면적 전·후평가와 생태계서비스 전·후평가 결과를 보면, 서울서초지구는 개발 후 녹지면적이 73% 감소하였고, 하남감일지구가 58% 감소하여 두 지구간에 15% 녹지면적 감소율 차이가 났다. 반면에 생태계서비스는 녹지면적 전·후평가 결과와는 다른 결과를 보였다. 녹지면적이 가장 많이 감소한 서울서초지구는 생태계서비스가 14% 증가하여 최대값을 나타냈고, 고양원흥지구는 38% 감소하여 두 지구간에 52% 생태계서비스 차이가 났다. 또한 개발 후 녹지면적비율의 평균인 고양원흥지구는 생태계서비스 평균수준인 하남감일지구보다 녹지면적 감소는 9%이었고, 생태계서비스 감소는 21%여서 생태계서비스 감소폭이 녹지면적 감소폭의 2배가 되는 17%였다. 고양원흥지구 개발형태가 전체 생태계서비스 측면에서 가장 불리하였다.

녹지면적 전·후평가와 생태계서비스 유형별 전·후평가 결과에서 녹지면적이 적게 감소하면 공급서비스도 적게 감소하였다. 지원과 문화서비스는 녹지면적 감소 정도와 다르게 나타났다. 특히 문화서비스는 서울서초지구 0.07부터 다른 세 개 지구 0.01까지 6% 감소 추세를 보여 대상지구별 변화정도가 낮았다. 공급서비스는 고양원흥지구 -0.07부터 하남감일지구 -0.02까지 약간 증가하였고 평가결과가 대상지구간에 비슷하여 개발로 인한 영향은 작았다. 지원서비스는 서울서초지구 0.08부터 하남감일지구 -0.11까지 19%가 감소하여 문화와 공급서비스보다는 개발 영향이 컸다. 생태계서비스 유형 가운데 조절서비스 전·후평가 결과값이 가장 낮았고, 조절서비스의 감소추세 폭도 서울서초지구 0.03부터 고양원흥지구 -0.21까지 24%나 차이를 보여 개발의 영향이 가장 컸다. 이것은 조절서비스가 개발로 인한 영향을 가장 많이 받아 문제가 심각함을 나타내고 있다 할 것이다. 생태계서비스 향상을 위해서는 어떤 개발형태가 조절서비스 증진을 도모할 수 있는지 우선적으로 고려할 부분으로 판단된다. 생태계서비스 유형별 중요도(그림 III-6)에서 조절서비스의 중요도가 가장 높은 것과 맥락을 같이 한다고 볼 수 있다.

② 녹지의 질적 측면과 조절서비스

조절서비스는 생태적 과정을 조절함으로써 얻어지는 편익을 나타내는 지표들로 구성되어 생태공간인 녹지의 기능적 측면으로 볼 수 있다. 대상지구의 조절서비스 평가지표별 전·후평가 결과를 종합하여 생태계서비스 평가에 영향을 미치는 요인과 구별되는 특성에 대하여 고찰하였다.

대상지구의 녹지면적과 조절서비스 평가지표에 대한 전·후평가 결과는 그림 IV-27와 같다. 조절서비스 평가결과에 대상지구 간의 증감 차이를 나타낸 지표는 활엽수면적과 환경사지피복면적으로 서울서초지구의 조절서비스 평가결과에 긍정적 영향을 나타내었다. 녹지면적 평가결과와 유사한 지표는 투수성지반면적으로 지구별 결과값이 유사하여 조절서비스 평가에 미치는 영향이 낮은 지표라고 볼 수 있다. 조절서비스 평가결과와 유사한 대상지구별 차이를 나타낸 지표는 대기오염물질흡수량과 탄소저장량이었다.

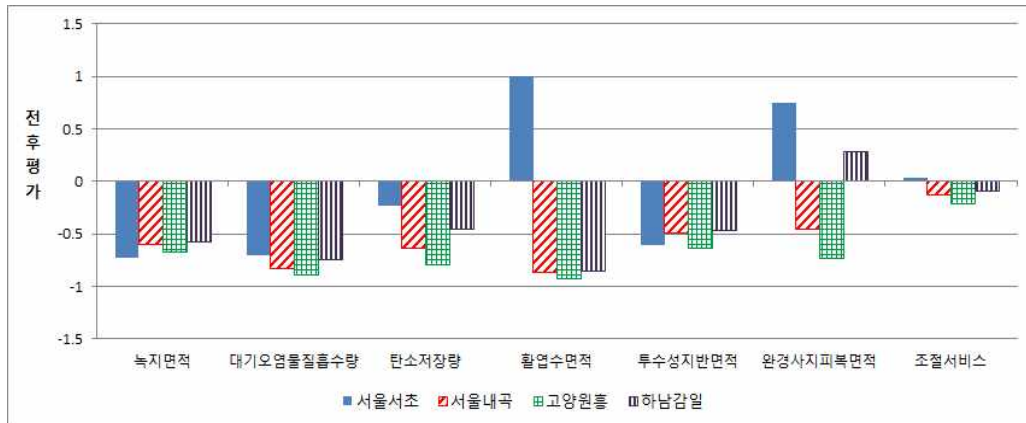


그림 IV-27. 녹지면적과 조절서비스 평가지표의 전·후평가

이상과 같이 조절서비스 평가결과에서 차이를 나타내는 대상지구의 생태공간에 대한 세부 토지이용계획을 살펴보았다(표 IV-60). 개발에 따른 녹지의 질적 측면에서 영향을 주는 요소를 도출하기 위해 녹지를 구성하고 있는 활엽수림, 침엽수림, 환경사지피복면적, 그리고 탄소저장량의 변화와 함께 각 면적비율의 변화를 고찰하였다. 개발 후 녹지면적비율은 평균이나 가장 낮은 생태계서비스를 가진 고양원흥지구를 중심으로 서비스가 높게 나타난 서울서초지구, 그리고 서비스가 평균 수준인 하남감일지구의 조절서비스 면적기반 평가지표에 대한 전·후평가 결과를 비교하였다(표 IV-61).

고양원흥지구와 서울서초지구의 녹지면적 전·후평가는 고양원흥지구가 6% 더 높지만 조절서비스는 서울서초지구가 24% 더 높았다. 이것은 개발 후 녹지를 구성하는 활엽수림과 침엽수림면적비율은 차이를 보이지 않았으나 개발 전 녹지현황에서 서울서초지구가 개발 후 순증한 데 따른 것으로 보인다. 고양원흥지구와 하남감일지구는 조절서비스가 모두 감소하였지만 전·후평가 결과 하남감일지구가 녹지면적은 9%, 조절서비스는 12% 높아 하남감일지구의 조절서비스 증가폭이 녹지면적보다 3% 더 큰 것으로 나타났다.

표 IV-60. 조절서비스 면적기반 지표의 변화

(면적: 천m², 탄소저장량: tonC)

구분	서울서초		서울내곡		고양원흥		하남감일	
	개발전	개발후	개발전	개발후	개발전	개발후	개발전	개발후
대상지면적	362	362	769	769	1,287	1,287	1,688	1,688
녹지면적	280	75	651	263	1,035	346	983	416
활엽수림면적	0	4.6	102	13.2	308	20.5	156	23
침엽수림면적	0	1.2	9	3.3	46	5.1	4	6
환경사지피복면적	27.6	48.4	276	203	605	165	309	395
식생의 탄소저장량	0	593	4,808	1,692	16,124	2,626	3,999	2,951
녹지면적비율 (녹지면적/전체면적)	0.77	0.21	0.85	0.34	0.8	0.27	0.58	0.25
활엽수림면적비율 (활엽수면적/녹지면적)	0	0.06	0.16	0.05	0.3	0.06	0.16	0.06
침엽수림면적비율 (침엽수면적/녹지면적)	0	0.016	0.014	0.013	0.04	0.015	0.004	0.014
환경사지피복면적비율 (환경사지피복면적/녹지면적)	0.1	0.65	0.42	0.77	0.58	0.48	0.31	0.95
식생의 탄소저장량비율 (식생의 탄소저장량/녹지면적)	0	7.91	7.39	6.43	15.58	7.59	4.07	7.09

표 IV-61. 조절서비스 면적기반 지표의 전·후평가

(면적: 천m², 탄소저장량: tonC)

구분	서울서초	서울내곡	고양원흥	하남감일	고양원흥/ 서울서초 비교*	고양원흥/ 하남감일 비교*
조절서비스	0.03	-0.13	-0.21	-0.09	-0.24	-0.12
녹지면적	-0.73	-0.60	-0.67	-0.58	0.06	-0.09
활엽수림면적	1	-0.87	-0.93	-0.85	-1.93	-0.08
침엽수림면적	1	-0.63	-0.89	0.45	-1.89	-1.34
환경사지피복면적	0.75	-0.26	-0.73	0.28	-1.48	-1.01
식생의 탄소저장량	1	-0.65	-0.84	-0.26	-1.65	-0.39
녹지면적 비율 (녹지면적/전체면적)	-0.73	-0.60	-0.67	-0.58	0.06	-0.09
활엽수림면적 비율 (활엽수면적/녹지면적)	1	-0.68	-0.80	-0.65	-1.8	-0.15
침엽수림면적 비율 (침엽수면적/녹지면적)	1	-0.09	-0.67	2.43	-1.67	-3.1
환경사지피복면적 비율 (환경사지피복면적/녹지면적)	5.5	0.82	-0.18	2.02	-5.73	-2.2
식생의 탄소저장량 비율 (식생의 탄소저장량/녹지면적)	1	-0.13	-0.51	0.74	-1.51	-1.25

* 고양원흥지구를 기준으로 서울서초지구 및 하남감일지구의 전·후평가 결과 비교

대상지구의 개발 전과 개발 후 녹지면적비율을 보면, 고양원흥지구는 개발 전 0.8에서 개발 후 0.27로 낮아져 녹지면적의 전·후평가값이 67% 감소하였다. 하남감일 지구는 개발 전 0.58에서 개발 후 0.25로 낮아져 녹지면적의 전·후평가값이 58% 감소하였다. 여기서 사업대상지 규모 차이가 있어 상대비교를 위해 면적비율을 사용하였다. 개발 후 녹지면적은 토지이용계획에 따른 녹지면적과 공원면적을 적용하였고, 식생유형별 면적은 구체적인 조경설계 전 단계이기 때문에 국토교통부 「조경기준」을 동일하게 적용하였다. 개발 전 식생유형의 상태 차이에 따라 전·후평가값은 달라진다.

녹지면적 대비 활엽수림면적 비율은 개발 후 서울내곡 0.05, 다른 세 개 지구 0.06으로 유사하였으나 개발 전 고양원흥지구 0.3, 하남감일지구 0.16으로 고양원흥지구가 하남감일지구보다 약 2배 높았다. 하남감일지구 활엽수림면적비율의 전·후평가 결과 고양원흥지구보다 15% 높은 값을 나타냈다. 침엽수림면적 비율은 개발 전 고양원흥지구 0.04, 하남감일지구 0.004로 고양원흥지구가 10배 높았다. 개발 후 고양원흥지구 침엽수림면적의 전·후평가값은 67% 감소하였고 하남감일지구의 전·후평가값은 243% 증가하였다. 환경사지피복면적비율은 고양원흥지구가 개발 전 0.58에서 개발 후 0.48로 낮아져 전·후평가값이 18% 감소하였으나 하남감일 지구는 개발 전 0.31에서 개발 후 0.95로 전·후평가값이 202% 증가하였다. 탄소저장량 비율은 고양원흥지구가 개발 전 15.58에서 개발 후 7.59로 낮아져 전·후평가값이 51% 감소하였으나 하남감일 지구는 개발 전 4.07에서 개발 후 7.09로 높아져 전·후평가값이 74% 증가하였다. 즉, 개발 후 녹지면적비율이 고양원흥지구 27%, 하남감일지구 25%로 두 지구는 2% 밖에 차이 나지 않으나 조절서비스에 미치는 영향은 고양원흥지구가 21% 감소하였고 하남감일 지구는 9% 감소하여 두 지구간에 11% 차이가 났다. 이것은 개발 전 대상지 생태기능이 지구별 차이가 있으나 이를 고려하지 않고 개발계획에서 동일한 조경기준을 적용하게 되면 개발 후 대상지구 생태계서비스는 같은 수준으로 유지되는 것이 아니라는 것을 보여주고 있다. 대상지 상태에 따라 개발 후 생태계서비스 감소를 상쇄하기 위한 별도의 조치가 필요하다고 판단된다.

따라서, 고양원흥지구가 개발 후 하남감일지구와 비슷한 수준의 조절서비스 질을 유지하기 위해서는 하남감일지구보다 낮은 생태계서비스 감소분을 상쇄할 수 있도록 전·후평가 결과치를 고양원흥지구의 조절서비스 평가값인 -0.21에서 하남감일지구의 평가값인 -0.09로 높이는 방안을 고려해 볼 수 있다(표 IV-62). 이를 위해 고양원흥지구와 하남감일지구의 조절서비스 평가지표 전·후평가 결과를 비교하여 그 차이만큼 평가값을 높일 수 있을 것이다. 가장 간단한 방법으로 대상지구의 전체녹지면적을 고려하면, 하남감일지구와 비교하여 고양원흥지구의 전·후평가 결과 녹지면적 감소율 9%에 해당하는 92천㎡를 추가 조성하여 개발 후 녹지면적을 438천㎡로 확대하면 하남감일지구의 전·후평가값과 같아진다. 이와 같은 방법으로 고양원흥지구의 활엽수림은 8%인 25.7천㎡를, 침엽수림은 134%인 61.6천㎡를 추가 조성이 필요하다고 할 수 있다.

표 IV-62. 고양원흥지구의 식생면적 변경

(면적: 천㎡)

구분	현재			변경		
	개발 전	개발 후	전·후평가	추가	개발 후	전·후평가*
대상지면적	1,287	1,287	-	1,287	1,287	-
조절서비스	-	-	-0.21	-	-	-0.09*
녹지면적	1,035	346	-0.67	92	438	-0.58
활엽수림면적	308.0	20.5	-0.93	25.7	46.2	-0.85
침엽수림면적	46.0	5.1	-0.89	61.6	66.7	0.45

* 변경된 조절서비스 전·후평가값은 하남감일지구의 값을 차용한 것임.

4. 생태계서비스 평가모형 활용방안

1) 생태계서비스 평가와 환경영향평가의 연계방안

본 연구에서 도출된 연구결과를 바탕으로 현재 환경영향평가에서 미흡한 부분을 해결하기 위해, 전·후평가를 기본으로 하는 생태계서비스 평가모형을 그 개선방안으로 제시하고자 한다. 생태계서비스 평가와 환경영향평가의 연계방안을 모색하되, 개발사업을 대상으로 현재 시행하고 있는 환경영향평가의 틀이 그대로 유지될 수 있도록 최소한의 범위 내에서 개선방향을 검토하였다.

표 IV-63. 환경영향평가제도와 연계를 위한 접근방향

구분	내용	필요성	연계방향
전략환경영향평가	· 개발기본계획에 대한 계획의 적절성, 입지의 타당성 평가	· 제도 시행 초기단계 미흡성 보완 · 객관적 판단 근거 제공	· 현재(전)와 개발기본계획(후)에 대한 생태계서비스 전·후평가 - 개발계획, 입지 선정 판단
소규모 환경영향평가	· 환경에 미치는 영향의 조사·예측·평가, 입지 타당성(전략환경영향평가 실시 사업 제외)	· 지역 특성을 반영한 평가 기준	· 보전지역개발사업이 생태계에 미치는 영향을 줄이도록 생태계서비스 전·후평가 실시 - 서비스 증진방안 (및 필요시, 입지 타당성) 제시
환경영향평가	· 토지이용계획안에 대한 평가 · 환경에 미치는 영향의 조사·예측·평가	· 사업시행 전과 후 생태분야에 대한 종합적·정량적 비교	· 현재(전)와 개발계획(후)에 대한 생태계서비스 전·후평가 - 평가 단계별 적용방안과 서비스 증진방안 제시
	· 사후환경영향조사	· 사후관리와 사후평가	· 개발 전과 개발 후(계획/착공이후) 상태에 대한 생태계서비스 전·후평가 비교 - 증진방안 수행여부 모니터링 - 개발계획 피드백

표 IV-63에서 언급한 환경영향평가제도 중 전략환경영향평가를 진행함에 있어 스코핑 단계에서 생태계서비스 평가를 연계하는 방안이다. 전략환경영향평가는 2012년 7월 21일부터 시행된 제도로 기존 사전환경성검토에서 다룬 행정계획을 정책계획과 개발기본계획으로 구분하여 실시하고 있다. 현재 제도시행의 초기단계에 있기 때문에 개발기본계획에 대한 평가항목과 평가방법 등에서 구체적인 내용

과 적용사례가 부족한 상황이다. 개발기본계획의 적정성과 입지 타당성을 판단하는 기준으로 본 연구에서 제시한 I, II 그룹 평가지표를 중심으로 생태계서비스 평가를 활용하면 연계가 가능하다. 그리고 개발 전 현황과 개발기본계획에서 제시하는 내용에 대한 전·후평가를 실시할 경우 생태계서비스 감소를 최소화하는 입지선정이나, 개발 방향과 대안을 제시할 수 있을 것이다.

다음으로 소규모 환경영향평가와 생태계서비스 평가를 연계하는 방안이다. 소규모 환경영향평가를 수행함에 있어 환경보전이 필요한 지역이나 난개발이 우려되어 계획적 개발이 필요한 지역에서 개발사업을 시행할 때 입지 타당성과 환경에 미치는 영향을 미리 조사·예측·평가한다. 이때 소규모 환경영향평가와 생태계서비스 평가를 연계한다. 보전지역개발사업을 시행함에 있어 생태계에 미치는 영향을 줄이도록 개발 전 현황과 개발계획에 대한 생태계서비스 전·후평가를 실시하여 개발 후 생태계서비스 증진방안을 제시하도록 한다. 여기서 개발대상지 보전지역의 특성을 반영하여 일정수준 이상의 생태계서비스가 유지될 수 있도록 차등기준을 적용한 증진방안이 되어야 할 것이다.

마지막으로 환경영향평가의 스코핑, 본 평가, 사후조사방법과 생태계서비스 평가를 연계하는 방안이다. 먼저, 스코핑에 대해서는 개발 전 상태와 개발계획에서 제시한 토지이용계획안에 대하여 본 연구의 I, II 그룹 평가지표를 중심으로 생태계서비스 전·후평가를 실시한다. 그 결과를 반영하여 개발계획이 생태계서비스 증진을 도모할 수 있도록 토지이용계획안을 결정한 다음 환경영향평가를 진행하도록 한다. 두 번째, 본 환경영향평가에서는 전체 생태계서비스 평가지표에 대한 전·후평가로 확대하여 환경영향평가 진행 단계별 생태계서비스 증진방안을 제시하는 이원적인 평가방안으로 진행할 수 있을 것이다. 세 번째, 사후조사에서는 사후환경영향조사를 할 때 개발계획 상태에서 실시한 생태계서비스 전·후평가 결과와, 준공이후 해당지구에 대한 생태계서비스 전·후평가를 다시 실시한다. 이 두 가지 결과표를 비교하면 사후관리와 사후평가가 가능하다. 즉, 사후관리차원에서는 생태계서비스 증진방안의 이행이 제대로 이루어지고 있는지 지속적인 모니터링을 할 수 있다. 그리고 사후평가차원에서는 양 시점간의 모니터링을 통해 개발계획에

대한 검증을 실시하여 바람직한 개발방향을 제안하는데 기여할 수 있을 것이다.

2) 생태계서비스 평가모형 활용방안

본 연구에서 도출된 연구결과를 바탕으로 현재 운영되고 있는 환경영향평가제도와의 연계하여 어떻게 활용할지에 대한 방안을 제시하였다(표 IV-64).

표 IV-64. 환경영향평가제도에 생태계서비스 평가 활용방안

구분	주요 내용	활용방안
전략환경영향평가	○ 「환경영향평가법」 제11조 - 전략환경영향평가 실시 전 평가준비서 작성, 개발기본계획의 토지이용구상안 및 대안 결정	○ 토지이용구상안과 대안 분석 - 평가준비서에 I 그룹 평가지표 생태계서비스 전·후평가 포함
	○ 「환경영향평가법」 제12조, 제13조 - 전략환경영향평가서 초안 작성 - 입지에 대한 대안, 입지의 타당성	○ 개발사업 입지 타당성 분석 - 평가서 초안에 I, II 그룹 지표 생태계서비스 전·후평가 포함
	○ 「환경영향평가법」 제16조 - 전략환경영향평가서 작성 및 협의 - 평가준비서에 입지타당성, 토지이용구상안, 대안 결정내용 및 조치내용 - 평가서 초안의 입지관련 의견 검토	○ 개발사업 입지 타당성 검토 - 입지, 토지이용구상안 및 대안 결정과 조치내용에 대하여 I, II 그룹 평가지표의 생태계서비스 전·후평가 결과 반영
소규모 환경영향평가	○ 「환경영향평가법」 제43조, 44조 - 소규모 환경영향평가서 작성, 협의 - 환경에 미치는 영향의 조사·예측·평가결과, 환경보전방안 포함(필요시, 입지타당성)	○ 보전지역개발사업 서비스 증진방안(필요시, 입지 타당성) 검토 - 토지이용계획의 공원녹지비율과 조절서비스 면적기반 지표 전·후평가, 서비스 증진방안 제시
환경영향평가	○ 「환경영향평가법」 제24조 - 환경영향평가 실시 전 평가준비서 토지이용계획안 등 작성, 환경보전방안 대안 결정	○ 토지이용계획안과 대안 분석 - 평가준비서에 I, II 그룹 평가지표 생태계서비스 전·후평가 결과 반영
	○ 「환경영향평가법」 제25조, 제27조, 제28조 - 환경영향평가서 작성, 협의, 검토 - 항목별 조사, 예측, 평가결과, 대안 설정 및 평가	○ 평가단계별 생태계서비스 평가모형 적용 - 개발 전 평가, 개발 후 평가, 전·후평가 결과 반영, 증진방안 수립
	○ 「환경영향평가법」 제36조 - 사후환경영향조사 실시	○ 사후관리와 사후평가 - 생태계서비스 증진방안 수행여부 모니터링 - 개발계획 피드백으로 바람직한 개발방향 제안

본 연구에서 제시한 생태계서비스 평가모형은 택지개발사업을 대상으로 하였으나 도시개발사업, 도시정비사업, 주택건설사업, 대지조성사업 등 도시지역에서 인간 생활과 관련있는 사업을 대상으로 적용하고 점차 다른 유형의 사업으로 확대 나갈 수 있을 것이다.

환경영향평가제도의 종류별 생태계서비스 연계방안을 살펴보았다. 먼저 전략환경영향평가에서는 개발사업에 대한 개발기본계획의 적정성과 입지 타당성을 평가함에 있어, 본 연구에서 제시한 I, II 그룹 생태계서비스 평가지표의 전·후평가 적용이 가능하다. 여기서 전략환경영향평가는 구체적인 단지조성계획이 수립되지 않고 유동적인 상태에서 평가를 시행하므로 개발 후 상태변화에 대해서는 대안별 계획목표치를 제시하는 수준으로 실시하여 전·후평가 결과값이 높은 토지이용구상안과 대안을 결정하여 전략환경영향평가를 진행하도록 한다.

전략환경영향평가에 생태계서비스 평가의 활용방안을 구체적으로 살펴보면, i) 평가준비서는 개발기본계획의 토지이용구상안과 대안을 결정하기 위한 것으로, 개발 전 토지이용현황과 개발기본계획이 수립된 사업의 토지이용구상과 대안에 대한 I 그룹 평가지표의 전·후평가를 실시하여 포함한다. ii) 전략환경영향평가서 초안은 개발사업의 입지 타당성을 분석하기 위한 것으로, 개발 전 현황과 개발 후 입지에 대한 대안별 I, II 그룹 평가지표의 전·후평가를 실시하여 포함하도록 한다. 이 때 대안에 대한 전·후평가 결과값을 정량화하여 평가할 수 있게 된다. 이를 바탕으로 개발사업의 입지, 토지이용구상안과 대안을 결정하고 개발계획 수립의 근거로 활용할 수 있다.

소규모 환경영향평가에서는 보전지역개발사업의 환경영향을 평가할 때, 본 연구에서 도출한 토지이용과 생태계서비스 평가결과 적용이 가능하다. 개발 전 현황조사자료와 개발 후 개발계획의 토지이용계획에 대하여 조절서비스 면적기반 지표의 전·후평가를 실시한다. 그 결과를 개발에 따른 영향의 조사, 예측, 평가결과로써 제시한다. 여기서 전·후평가 결과값은 개발에 따른 생태계서비스에 미치는 영향이 어느 정도인지 정량화된 수치값으로 나타낼 수 있게 된다. 본 연구에서 제시한 보금자리주택지구의 생태계서비스 평가값의 평균인 하남감일지구 수준

으로 생태계서비스를 유지하기 위해서는 대상지역 특성을 고려한 차등 적용 근거를 제시할 수 있다. 즉, 토지이용계획의 공원녹지비율과 활엽수, 침엽수 등 녹지 유형별 구성 비율이 대상지의 환경적 특성에 따라 차이가 날 수 있다.

환경영향평가에서는 스코핑·본 평가·사후조사별로 각각 생태계서비스 평가의 적용이 가능하다. 환경영향평가의 스코핑에서는 환경영향평가를 실시하기 전에 본 연구의 I, II그룹의 평가지표를 중심으로 개발 전 토지이용현황과 개발 후 토지이용계획안에 대한 전·후평가를 실시한다. 개발계획이 생태계서비스의 증진을 도모할 수 있도록 평가결과값이 높은 토지이용계획안을 결정한 다음 환경영향평가를 진행하도록 한다. 본 환경영향평가에서는 전체 생태계서비스 평가지표로 확대하여 이원적인 평가방안으로 진행할 수 있을 것이다. 환경영향평가단계에 따라 생태계서비스 현황조사와 영향예측을 거쳐 생태계서비스 증진방안을 제시하고 사후조사계획을 수립하여 그 이행여부를 확인한다(표 IV-65).

표 IV-65. 생태계서비스 평가의 환경영향평가 단계별 적용방안

평가단계	적용방안	평가모형과 연관
현황조사	· 각 지표의 측정방법에 따라 현황자료를 조사, 필요 자료 구축	· 각 지표의 개발 전 평가
영향예측	· 각 지표의 개발계획에 따른 생태계서비스의 변화량, 각 영향의 민감도 분석	· 각 지표의 개발 후 평가
증진방안	· 각 지표의 생태계서비스 상태변화 분석, 생태계서비스 증진방안 수립	· 각 지표의 전·후평가
사후조사	· 각 지표의 개발 후 생태계서비스 상태가 유지 또는 증가 방안에 대한 이행 확인 · 개발계획의 피드백	· 각 지표의 전·후평가 결과값

각 단계별로 나누어 설명하면, 우선 현황단계에서는 생태계서비스 평가지표별 현황자료를 조사·분석하여 기술한다. 평가모형의 개발 전 평가값이 이에 해당한다. 영향예측단계에서는 개발사업이 생태계서비스 변화에 미치는 영향 정도를 분석한다. 평가모형의 개발 후 평가값이 이에 해당한다. 이를 바탕으로 개발에 따른 생태계서비스 영향을 정량적으로 분석할 수 있을 것이다.

증진방안은 환경영향평가 저감방안 단계에 해당하며 환경영향평가는 개발에

다른 환경영향을 저감하는 것이 목적이지만, 생태계서비스 평가에서는 생태계서비스 증진이 목적이므로 저감방안 대신 증진방안으로 표현하였다. 개발에 따른 생태계서비스 증진을 최대화하기 위한 방안을 사전에 수립함으로써 생태계서비스 하락을 줄일 수 있을 것이다. 평가모형에서 전·후평가값이 해당한다. 현재 기술적, 경제적 수준으로 실시 가능한 최선의 방안을 고려하여야 한다.

마지막으로 사후조사단계에서는 사후관리와 사후평가에 생태계서비스 평가를 접목함으로써 개발 후 생태계서비스 상태를 확인하여 서비스가 유지·증가하도록 한다. 사후관리에는 사전 예측한 결과와 비교·검토할 수 있고 생태계서비스 증진 방안 이행에 대한 확인을 포함한다. 평가모형에서 전·후평가값이 해당하며 증진 방안과 마찬가지로 최대한 양(+)의 값이 유지할 수 있도록 사후관리한다. 그리고 사후평가는 개발사업의 준공 후 지속적인 모니터링 결과를 축적하여 개발계획의 피드백 자료로 사용할 수 있다. 특히, 준공 이후 이용측면에 대한 자료 축적이 가능하게 되어 문화서비스 평가방법의 개선에 기여할 것이다.

소규모 환경영향평가와 환경영향평가에서 생태계서비스 평가모형의 적용이 실효성을 가지도록 ‘생태계서비스 평가 기준’ 설정을 고려해 볼 수 있다. 지금까지 환경영향평가는 개발 전·후 상태변화 보다는 개발과정과 개발 후 환경예측에 따라 개발행위가 환경에 미치는 해로운 영향을 저감하는 데 초점을 두었다. 개발 전 환경상태에 따라 생태계서비스 변화에 미치는 영향을 고려하여 일정수준의 생태계서비스 질을 담보하기 위해서는 개발 후 생태적 기준뿐만 아니라 전·후평가 기준도 설정되어야 한다. 기존 개발지와 본 연구 대상지와 같은 개발제한구역의 상태 차이를 반영할 수 있어야 한다. 이를 위해 전·후평가 결과치가 낮다면 이를 상쇄할 수 있도록 녹지면적의 전·후평가 기준을 마련하고 본 연구의 적용대상사업인 도시민의 생활과 밀접하게 관련된 택지개발사업에 우선 시범 적용하도록 한다. 점차 도시개발사업 등 환경영향평가 대상사업으로 범위를 확대해 간다면 환경영향평가에서 정량화된 생태계 평가기법을 제공하게 되고 도시민의 삶의 질 향상에 기여하는 보다 효과적인 생태계서비스 증진방안 마련이 가능할 것이다.

V. 결론

1. 연구의 주요 결과 및 의의

생태계서비스는 생태계가 잘 유지됨으로써 인간에게 주어지는 다양한 혜택이라고 정의할 수 있다. 생태계서비스는 인간이 자연과 더불어 조화롭게 살아 갈 수 있도록 도와주는 한편, 나아가 삶의 질을 향상시키는 데 중요한 역할을 한다. 생태계서비스 측면에서 살펴보면 택지개발사업도 생태계의 변화를 유발하게 되며, 그로 인해 그곳에 거주하는 시민 삶의 질에 직접적인 영향을 미친다. 이에 따라 본 연구에서는 택지개발사업 시행 전과 후의 생태계서비스 상태변화를 정량적으로 파악할 수 있는 평가모형을 개발하여 수도권 4개 보금자리주택지구에 적용하여 보았다. 그 결과 본 논문에서 제시된 평가모형을 적용한다면, 향후 개발사업에서 생태계서비스의 증감 여부를 파악할 수 있는 평가모형임을 확인하였다.

본 평가모형은 개발계획에 대한 생태계의 구조와 기능을 평가함에 있어서 다음과 같은 효용성을 갖는다. 첫째, 개발사업을 대상으로 생태계 기능에 대한 평가요소와 평가체계를 개발하였다. 이를 통해 생태계가 인간에게 제공하는 다양한 혜택을 평가할 수 있게 하였다. 둘째, 개발사업의 시행으로 초래된 생태계서비스의 상태변화에 대해 개발 전·후의 비교·평가가 가능하도록 하였다. 이를 통해 개발사업이 생태계에 미치는 영향을 분석하여 생태계서비스 증감요인을 용이하게 파악할 수 있게 하였다. 셋째, 개발에 따른 생태계서비스 감소분을 상쇄한 상태에서 일정수준 이상의 생태계서비스를 유지하는 것이 바람직한데, 이를 위해 같은 유형의 사업이라 하더라도 일률적인 평가기준의 적용이 아닌 대상지별 특성을 반영한 생태계서비스 전·후평가 결과를 기초로 차등기준을 적용할 수 있도록 하였다. 마지막으로, 생태계서비스의 평가는 개발사업이 시행되기 전에 실시하는 환경영향평가단계에서 접목이 가능하도록 하였다. 이에 따라 향후 개발사업 추진 시 기존의 틀을 크게 바꾸지 않은 상태에서도 생태계서비스를 향상시키는 방향으로

개발사업의 추진이 가능할 것으로 본다.

연구결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 본 연구의 생태계서비스 평가는 전(全) 지구적 차원의 생태계서비스 개념을 개발사업이 시행되는 단지규모에 적용하여 실시하였다. 그리고 개발사업이 생태계서비스에 미치는 전반적인 영향을 파악하기 위해 공급서비스, 조절서비스, 지원서비스, 그리고 문화서비스의 모든 유형을 포함하는 종합적인 평가를 시도하였다.

둘째, 개발로 인한 생태계서비스의 상태변화를 파악함에 있어 문헌분석과 전문가 심층인터뷰 및 설문조사를 반복하여 17개 평가항목과 20개 평가지표를 최종 선정하였다. 17개 평가항목에는 식량, 생물자원, 기후조절, 서식지 제공, 레크리에이션 등이 있다. 그리고 20개 평가지표는 공급서비스에서 농산물생산량을 포함한 4개 지표, 조절서비스에서 대기오염물질흡수량, 수·녹지면적, 탄소저장량을 포함한 7개 지표, 지원서비스에서 서식규모의 안정성 등 3개 지표, 그리고 문화서비스에서 경관미, 레크리에이션활동공간면적 등 6개 지표로 구성되었다.

셋째, 생태계서비스 평가구조는 개발에 따른 상태변화를 분석하기 위해 개발 전(A)과 개발 후(B) 상태 값에 대한 전·후평가 방법 $((B-A)/A)$ 으로 산정하여 평가값이 -1(음)에서 +1(양)의 값을 가지도록 하였다. 개발 후 생태계서비스가 증가하면 양(+)의 값, 감소하면 음(-)의 값, 서비스 변화가 없으면 0(제로)값을 나타내어 개발로 인한 생태계서비스 영향을 예측하고 평가할 수 있었다.

넷째, 평가지표 측정은 개발사업의 환경영향평가단계에서 사용할 수 있는 자료를 바탕으로 20개 평가지표에 대한 정량화방법을 설정하여 산출하였다. 택지개발사업 시행 전·후의 상태변화를 파악하기 위해 대상지 내부 생태계를 평가대상으로 하였다. 공급과 조절서비스는 양적 평가, 지원서비스는 질적 평가를 하였으며, 문화서비스는 인간이 이용 가능한 생태적 공간의 구조분석방법에 의한 정량적 측정방법으로 산출하였다. 지표별 평가값의 편차문제를 해소하기 위해 전·후 평가값에 로그함수를 취하여 평가값의 표준화를 실시하였다. 평가지표와 서비스유형 간 상대적 중요도를 AHP 분석결과 도출된 가중치로 부여하여 생태계서비스

평가모형을 개발하였다.

마지막으로, 본 연구에서 도출된 생태계서비스 평가모형의 적용가능성을 평가하기 위해 4개 보금자리주택지구-서울서초, 서울내곡, 고양원흥과 하남감일지구-에 적용하여 검증하였다. 그 결과, 서울서초지구는 개발 후 생태계서비스가 증가하였고 다른 3개 지구는 감소한 것으로 나타났다. 서비스 유형별로 보면 공급서비스는 4개 지구 모두 감소하였고, 문화서비스는 4개 지구 모두 증가하였으며, 조절과 지원서비스는 서초지구만 증가하는 등 지역에 따라 다르게 나타났다. 개발계획에 대한 생태계서비스 평가는 토지이용계획이 중요하였고 개발에 따른 영향은 조절서비스가 가장 많이 받은 것으로 나타났다. 조절서비스 전·후평가 결과는 서울서초지구가 높고 그 다음이 하남감일지구였으며 고양원흥지구가 낮았다. 조절서비스와 생태계서비스를 제공하는 생태공간인 녹지의 양적·질적인 측면에 대한 종합분석 결과를 살펴보면, 개발 후 대상지구 중 생태계서비스 평가결과값이 평균에 근접한 하남감일지구 수준을 유지하려면 이보다 낮은 평가값을 보인 고양원흥지구는 낮아진 값을 회복할 수 있도록 별도의 상쇄조치가 이루어져야 한다.

생태계서비스 평가모형을 4개 지구에 적용하였다. 그 결과 평가모형은 사례대상지와 개발사업의 특성을 반영하고 있고, 또한 개발사업의 전·후 생태계서비스에 미치는 긍정적 또는 부정적 영향이 큰 특성을 파악할 수 있었다. 그런 면에서 해당모형은 택지개발사업이 생태계서비스에 미치는 영향을 예측하고 평가함에 적합하다고 판단된다. 전체 평가지표 중 식물현존량, 생태1·2등급권역, 탄소저장량, 활엽수·혼효림면적, 그리고 지형보전·복구면적의 5개 지표는 중요도와 결과 값에 미치는 영향력이 가장 크므로, 4개 그룹 중 개발계획에서 우선적으로 고려할 I 그룹 평가지표로 구성하였다. 본 평가모형은 현 환경영향평가의 미흡한 부분을 보완하고자 제안하였다. 이를 위해 생태계서비스 평가모형을 현 환경영향평가제도인 전략환경영향평가, 소규모 환경영향평가와 환경영향평가를 연계하여 평가가 가능하도록 하였다.

본 연구에서 개발한 생태계서비스 평가모형은 택지개발사업에 의한 단지규모의 생태계서비스를 정량적으로 평가하는데 의의가 있다. 그동안 전 지구적 차원

의 생태계서비스 개념의 정립 및 생태계서비스 평가와 적용 필요성에 대한 연구는 상당 부분 진행되었다. 그러나 실제 개발사업을 대상으로 정량적으로 평가한 사례연구는 찾아보기 어려워 본 연구는 이에 대한 방향성을 제시할 수 있을 것이라 판단된다. 또한 개발대상지의 생태계를 대상으로 평가하였기 때문에 보호지역이 아닌 일반지역의 생태계에 대한 정량적인 평가기법을 통해 상태변화를 파악할 수 있다는 점에서 의미가 있다. 전·후평가 결과 정량화된 서비스 변화정도에 따라 대상지별 차등화를 통해 생태계서비스 감소분을 상쇄할 수 있는 증진방안 수립으로 연계가 가능하다. 전·후평가를 기반으로 수립된 생태계서비스 증진방안은 사후관리를 통해 그 이행여부를 파악할 수 있다. 그리고 해당 개발사업의 완료 후 모니터링을 통하여 개발계획에 대한 사후평가를 할 수 있다. 이러한 과정을 통해 관련 자료를 축적할 경우 생태계서비스 증진을 도모하는 개발계획을 수립하는 데 많은 도움이 될 것이다. 아울러 생태계의 다양한 기능적 측면뿐만 아니라 인간의 이용측면도 함께 고려한 점에서 도시지역의 생태계 보전과 현명한 이용에 대한 판단기준으로 작용할 수 있을 것이다.

2. 연구의 한계 및 향후 과제

택지개발사업이 생태계서비스의 미치는 영향을 평가함에 있어 전(全)지구차원의 생태계서비스 개념을 극소규모의 개발대상지구에 적용이 가능하도록 재해석을 하였으나, 이에 대한 한계가 있을 수 있다. 따라서 개발지구에 적합한 생태계서비스 평가에 필요한 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다. 특히, 본 연구의 평가모형은 개발행위에 초점을 두고 개발 전·후 생태계서비스 변화량을 평가한 것이다. 개발주변지역에 대한 현황조사 이외에는 사후의 조사자료가 부족하여 전·후 비교가 가능한 개발대상지역 내부로 그 범위를 제한하였다. 이에 따라 환경영향평가의 토지이용계획 중 공공시설용지로 다루는 지역만으로 평가범위를 한정하였다. 개발계획에 포함되지만 환경영향평가에서 다루지 않는 대지 안의 공

지(空地)는 단지 내부를 구성하는 생태공간으로써 생태계서비스를 제공하고 있는데, 향후 이를 포함하여 개발지구 전체를 대상으로 생태계서비스를 분석해 볼 필요가 있다. 또한 사후평가 시 단지 내 공지(空地)를 반영하여 대상지구의 생태적 기능을 종합적으로 평가할 필요가 있다. 아울러 개발로 영향받는 주변지역 생태계서비스의 상태변화까지 분석한다면 개발로 인한 생태계서비스의 변화를 보다 정확하게 예측·평가할 수 있을 것이다.

본 평가모형의 적용시기는 개발계획 수립 후 기본설계단계에서 진행되는 환경영향평가단계에서 이루어지는 것으로 개발이 시작되기 전에 적용이 가능하다. 개발사업 완료 후에 진행되는 사후평가 모니터링에 대한 추가 연구와 연계가 필요하다. 사전에 수립한 생태계서비스 증진방안의 이행여부에 대한 검증과 함께 보완이 가능하게 되어 생태계서비스의 증진을 도모하는 개발형태로 추진할 수 있을 것이다.

본 연구에서 제시한 생태계서비스 평가모형은 수도권지역의 4개 보금자리주택지구를 대상으로 개발하고 적용하였다. 생태계서비스 평가결과를 살펴보면 4개 지구 중 하남감일지구가 평균값을 보였다. 그리고 서울서초지구는 평균값 이상을 나타내어, 생태계서비스 측면에서 크게 우려사항이 없으나 고양원흥지구는 평균값에 못 미쳐 추가적인 개선이 필요한 것으로 판단된다. 만일 대상지역을 전국으로 확대하여 더 많은 지구를 대상으로 사례연구를 실시하고 평가결과를 분석한다면 대상지별 특성을 고려한 등급화방법론에 대한 의미있는 결과를 기대할 수 있을 것이다. 이에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

본 연구는 환경적 측면에서 생태계서비스의 가치를 계량화 할 수 있는 평가체계를 마련한 것이다. 향후 본 연구에서 제안한 평가지표와 평가요소들에 대해 화폐가치에 기초한 경제적 관점에서 그 가치를 산정해 볼 필요가 있다. 그럴 경우 개발계획단계에서 개발에 따른 경제적 편익과 함께 생태계서비스의 화폐가치를 반영한 종합적인 비용편익분석이 가능할 것이다.

끝으로 본 연구에서 제시된 평가모형을 기초로 추가적인 연구가 이루어진다면 향후 대규모 개발사업을 추진함에 있어 생태계서비스 향상을 기대할 수 있는 합리적인 개발계획을 마련하는데 큰 도움이 될 것이다.

인용문헌

- 강대석, 2005, 에머지(Emergy) 개념과 생태계 가치평가, 대한토목학회지, 53(8): 37-41.
- 강대석, 2010, 무인도서 선갑도의 에머지 환경수용력 평가, 한국해양환경공학회지, 13(1): 60-67.
- 강상목, 김명수, 2000, 환경지표와 지표체계 개발, 국토연구, 30: 31-49.
- 고양시, 2010, 통계연보.
- 고은주, 2005, 생태적 기능을 고려한 도시녹지종합평가방법-울산광역시를 사례로, 서울대학교 대학원 석사학위논문.
- 구미현, 이동근, 2012a, 생물다양성 평가기법의 국내외 연구동향 분석 및 환경영향평가 적용가능성에 대한 연구, 환경영향평가, 21(1): 119-132.
- 구미현, 이동근, 2012b, 개발사업에 따른 생태계서비스의 영향평가지표 개발 연구, 한국환경영향평가학회 2012년 추계학술대회 초록집.
- 국립산림과학원, 2006, 기후변화협약 대응 산림부문 온실가스 통계체계 구축.
- 국립환경연구원, 1997, 도시유형별 녹지의 환경개선기능 평가.
- 국토해양부, 2007, 통계연보.
- 국토해양부, 2008, 국민 주거안정을 위한 도심공급 활성화 및 보금자리 주택 건설방안.
- 국토해양부, 2011, 주택업무편람.
- 권민성, 2010, 도심형 소규모 초등학교 외부공간의 계획방향에 관한 연구: 옥상, 필로티, 중정공간을 중심으로, 서울시립대학교 대학원 석사학위논문.
- 권영한, 노태호, 이현우, 정흥락, 2006, 환경평가에 있어 생물다양성 항목의 도입 방안, 한국환경정책·평가연구원.
- 김경호, 이상혁, 2011, 생태계보전협력금 제도 활성화를 위한 부과금 개선방안 연구, 한국환경복원기술학회지, 14(6): 97-109.
- 김광득, 1993, 현대여가론 이론과 실제, 백산출판사.
- 김광우, 1988, 건축교육과 실무, 건축설계 연관분야-에너지분야, 대한건축학회지, 32(4): 40.

- 김명수, 안동만, 1996, 도시공원의 경관생태학적 분석: 패치의 형태지수와 분산도 분석을 중심으로, 한국조경학회지, 23(4): 12-19.
- 김선희, 이승복, 윤양수, 곽승준, 엄영숙, 김용주, 조승국, 류문현, 2004, 국토개발 사업의 환경가치 평가기준 설정과 적용에 관한 연구: 댐과 도로사업을 중심으로, 국토연 2004-12, 국토연구원.
- 김수봉, 2004, 공원녹지정책, 대영문화사.
- 김영인, 여흥구, 2009, 도시재생전략 수립을 위한 도시의 창조성 지수 개발에 관한 연구, 국토계획, 44(2): 71-84.
- 김용운, 2011, 도시민의 공원이용행태가 공원만족도 및 여가만족도에 미치는 영향, 세종대학교 대학원 박사학위논문.
- 김유나, 문태훈, 2009, 환경성과지수(EPI)를 활용한 도시환경지속성 성과평가에 관한 연구, 국토계획, 44(6): 171-182.
- 김은영, 2010, 개발사업에 따른 산림생태계 영향평가모형 개발 및 적용, 서울대학교 대학원 박사학위논문.
- 김응석, 2008, 계층분석과정을 이용한 상수관로의 노후도 평가를 위한 항목별 가중치 산정, 한국방재학회논문집, 8(5): 15-21.
- 김익재, 이병국, 최지용, 한대호, 2007, 수생태계 보호를 위한 토사관리 방안, 한국환경정책·평가연구원.
- 김재석, 이진원, 2008, 도시민의 여가공간선호도: 인구통계학적 특성에 따른 차이 분석, 여가학연구, 5(3): 91-107.
- 김재한, 2007, 우리나라 대도시의 지속가능발전성 비교평가, 한국지역지리학회지, 13(3): 235-253.
- 김지영, 김영현, 권영한, 김시현, 노태호, 맹준호, 박영민, 송영일, 유현석, 이수재, 이영수, 이영준, 이현우, 전인수, 정흥락, 조광우, 조승헌, 주현수, 최상기, 최재용, 최준규, 주용준, 박영재, 박준철, 서성철, 이정현, 채민정, 2002, 환경영향의 합리적 예측 평가를 위한 기법 연구, 한국환경정책·평가연구원.
- 김태철, 박승기, 문종필, 1997, DAWAST모형을 이용한 유출곡선번호 추정, 한국수자원학회논문집, 30(5): 423-430.
- 김현, 2009, GIS·RS 기법을 이용한 전라북도 산림의 바이오매스 추정, 전북대학

- 교 대학원 박사학위논문.
- 김현수, 안근영, 2002, 생태적 도시계획을 위한 생태기반지표 개발과 활용에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표논문집, 22(1): 407-410.
- 김현수, 2006, 생태면적률의 의미와 전망, 건축사, 4(444): 80-87.
- 김호석, 송영일, 김이진, 임영신, 2007, 환경평가와 지속가능발전지표 연계운용 방안에 관한 연구, 한국환경정책·평가연구원.
- 김홍운, 1999, 관광자원론, 일신사.
- 대한주택공사, 2009a, 고양원흥 보금자리주택지구 조성사업 환경영향평가서.
- 대한주택공사, 2009b, 서울서초 보금자리주택지구 조성사업 환경영향평가서.
- 류연수, 이현택, 나정화, 2007, 도시공원의 연결성, 순환성 및 고립도 분석에 따른 경관생태학적 개선방안, 한국환경복원녹화기술학회지, 10(6): 15-32.
- 문석기, 김민수, 차대현, 심상렬, 김진선, 구본혁, 1998, 조경설계요람, 조경.
- 박대훈, 2002, 공동주택의 미기후 조절계획 요소에 관한 연구 - 클러스터형 배치의 태양일사와 기류를 중심으로, 건국대학교 대학원 석사학위논문.
- 박석희, 2002, 신관광자원론, 일신사.
- 박성우, 2008, 경남 의령지역의 침수와 산사태 발생에 대한 원인 분석, 공주대학교 대학원 석사학위논문.
- 박원규, 2002, 지속가능한 주거단지 계획모형 개발, 한국조경학회지, 30(5): 39-54.
- 박창석, 노백호, 박용하, 윤기란, 2011, 국토자연자원의 현명한 이용전략 수립 III, 한국환경정책·평가연구원.
- 변병설, 주용준, 2000, 신도시의 지속가능한 토지이용지표 설정 및 평가, 국토계획, 35(1): 69-83.
- 배덕효, 이병주, 정일원, 2003, 위성영상 피복분류에 대한 CN값 산정(I), 한국수자원학회논문집, 36(6): 985-997.
- 배승종, 2005, GIS 및 RS기법을 이용한 면수준 농촌어메니티 가치 평가 모델 개발, 서울대학교 대학원 박사학위논문.
- 백승협, 최시중, 홍승진, 김동필, 2011, 홍수관련 지표 산정을 위한 표준화 및 가중치 비교 연구, 한국습지학회, 13(3): 411-426.
- 산림조합중앙회, 2004, 도시토양 및 초목의 오염실태와 대기오염물질 저감을 위

- 한 초목관리 정책방향에 관한 연구, 국회환경포럼.
- 서민원, 2004, 교육평가용어사전, 학지사.
- 서울특별시, 2004, 생태면적률 도시계획 적용 편람.
- 서울특별시, 2010, 통계연보.
- 서울특별시 에스에이치공사(SH공사), 2010, 서울내곡 보금자리주택지구 조성사업 환경영향평가서.
- 손지호, 이석모, 2000, Emergy 평가에 의한 부산광역시의 지속적인 발전가능성 평가, 한국환경과학회지, 9(3): 185-191.
- 송영은, 양병이, 1998, 도시공원의 환경교육 기능 평가 및 개선방안에 관한 연구: 서울시 도시공원을 중심으로, 환경교육, 11(2): 238-251.
- 송원경, 김은영, 이동근, 2012, 이질적 경관에서의 연결성 측정: 리뷰 및 적용, 환경영향평가, 21(3): 391-407.
- 신경희, 김지영, 노태호, 맹준호, 문난경, 선호성, 이희선, 조공장, 주용준, 최희선, 하주현, 임효숙, 2010, 택지 및 산업단지 개발사업의 환경평가 단계별 성과분석, 한국환경정책·평가연구원
- 신화경, 2000, 여가생활패턴과 여가공간의 위치구조, 상명대학교 자연과학연구소, 7: 1-12.
- 안동만, 김명수, 2003, 환경친화적인 도시공원녹지계획 연구, 한국조경학회지, 31(1): 34-41.
- 안진성, 2011, 델파이 기법(Delphi)과 계층적 의사결정방법(AHP)의 적용을 통한 전통정원의 보존상태 평가지표 개발, 성균관대학교 대학원 박사학위논문.
- 양병이, 이관규, 2002, 단지규모 개발사업의 지속가능성 평가지표, 국토계획, 37(5): 27-48.
- 오경두, 전경호, 양경규, 안원식, 조영호, 2005, 도시유역 CN산정 연구, 한국수자원학회논문집, 38(12): 1009-1020.
- 원형규, 구교상, 정진현, 이천용, 이윤영, 김춘식, 2002, 산림재해 발생 및 산림내 토지이용변화가 토양탄소 저장량에 미치는 영향, 한국환경생물학회 2002년도 춘계공동학술대회 및 심포지움 초록집, 80.
- 유민수, 이명훈, 최봉문, 2008, 지속가능한 도시개발지표 설정을 위한 환경친화지

- 표의 개발과 적용방안 연구, 국토계획, 43(3): 225-236.
- 유현석, 송영일, 김지영, 최상기, 최준규, 주현수, 이상범, 전동준, 선호성, 윤대옥, 조범준, 주용준, 김태형, 박하늘, 임혜숙, 정재현, 심숙연, 전정의, 2011, 개발 사업의 종합환경영향평가지수 산정에 관한 연구 II, 한국환경정책·평가연구원.
- 윤민호, 안동만, 2008, 토지이용변화와 열쾌적성 상관관계 분석, 한국조경학회 2008년도 추계학술대회논문집.
- 윤용남, 1998, 공업수문학, 청문각.
- 윤용한, 2002, 일기변화에 따른 녹지내의 기온변화, 대한국토·도시계획학회지, 37(2): 217-225.
- 윤희정, 임승빈, 2006, 옥외여가공간의 다중감각 선호 및 이미지 영향력 연구, 한국조경학회지, 34(3): 23-31.
- 이경보, 김창환, 김종구, 이덕배, 박찬원, 나승용, 2003, 만경강 본류의 자연정화능 향상을 위한 식생학적 진단, 한국환경농학회지, 22(2): 153-165.
- 이경준, 한상섭, 김지홍, 김은식, 2007, 산림생태학, 향문사, 서울.
- 이관규, 양병이, 2001, 환경평가를 위한 지표의 가중치 산정방법 결정 모형, 환경영향평가, 10(1): 59-71.
- 이관규, 2003, 아파트단지의 녹지 지속가능성 지표 개발, 서울대학교 대학원 박사학위논문.
- 이관규, 이상혁, 김경호, 이정환, 2011, 환경영향평가 대상사업에 적용가능한 생태면적률 지표 평가체계 개선, 한국환경복원기술학회지, 14(5): 113-125.
- 이규인, 2003, 주거단지계획의 환경적 지속성 평가를 위한 평가기준 설정방안 연구, 대한건축학회논문집 계획계, 19(1): 191-199.
- 이규인, 김민석, 2010, 생태적인 공동주택 외부공간의 평가기준 설정에 대한 전문가의식 조사연구, 대한건축학회논문집 계획계, 26(1): 175-184.
- 이금삼, 조화룡, 2000, DEM을 이용한 한반도 지형의 경사도 분석, 한국지리정보학회지, 3(1): 35-43.
- 이도원, 2001, 경관생태학: 환경계획과 설계, 관리를 위한 공간생리, 서울대학교출판부.
- 이동근, 전성우, 1997, 도시지속성지표 구축을 위한 개념적 연구: 환경적 지속성

- 지표를 중심으로, 환경영향평가 6(1): 33-45.
- 이동근, 윤소원, 1998, 지속가능한 도시개발을 위한 환경지표에 관한 연구: 인간과 자연과의 공생지표를 중심으로, 환경영향평가 7(1): 93-107.
- 이동근, 김명수, 구본학, 김경훈, 김동성, 나정화, 윤소원, 이명우, 전성우, 정흥락, 조경두, 제종길, 홍선기, 2004, 경관생태학, 보문당.
- 이동근, 윤소원, 김은영, 전성우, 최재용, 2005, 보전가치평가를 위한 경관생태학적 지표의 활용 및 적용, 한국조경학회지, 32(6): 14-22.
- 이동근, 이현이, 김은영, 2007, 개발에 따른 탄천유역의 파편화 및 이질성 분석, 한국환경복원녹화기술학회지, 10(6): 120-129.
- 이문세, 김경수, 송영석, 류제천, 2009, 강우 및 식생에 의한 토질특성 변화 분석, 대한지질공학회, 19(1): 33~41.
- 이영무, 1991, 자원절약형 단지계획: 생태학적 접근방법, 서울, 보문당.
- 이우성, 정성관, 유주한, 2006, 지속가능한 개발을 위한 대구광역시의 에머지 평가, 국토계획, 41(3): 137-150.
- 이우성, 정성관, 2011, GIS를 활용한 산림녹지의 환경조절적 기능평가, 한국지리정보학회지, 14(4): 102-115.
- 이우성, 2011, 지속가능한 도시공간 조성을 위한 녹지환경 평가 및 계획방향 설정, 경북대학교 대학원 박사학위논문.
- 이재준, 1998, 공동주택 주거환경의 어메니티평가와 계획적 함의에 관한 연구, 서울대학교 대학원 박사학위논문.
- 이재준, 2005, 한국형 생태도시 계획지표 개발에 관한 연구, 국토계획, 40(4): 9-25.
- 이창우, 오용선, 1999, 서울시 환경용량 평가에 관한 연구, 서울시정개발연구원.
- 이현우, 1994, 열환경기술과 건축, 대한건축학회지, 3: 9.
- 이현우, 이관규, 2007, 국토개발사업의 지속가능성 평가: 평가체계 정립과 녹지총량관점의 실험평가, 한국환경정책·평가연구원.
- 이현우, 김호석, 이관규, 이윤정, 2010, 도시농업의 온실가스 저감효과 및 정책방안, 한국환경정책·평가연구원.
- 정성관, 이우성, 2009, 대구광역권의 환경용량 및 생태계용역가치 평가, 한국지리정보학회지, 12(4): 18-33.

- 정연만, 2010, 생물다양성과 영향평가, 한국환경영향평가학회 2010 춘계학술대회 발표집, 3-11.
- 정현욱, 2012, 사회과학연구방법론, 2012, 시간의 물레.
- 정희성, 윤갑식, 2003, 지속가능성 평가를 위한 지역생태: 경제모형 개발 연구 II, 한국환경정책·평가연구원.
- 조공장, 최준규, 박영민, 송영일, 사공희, 이상범, 정주철, 임영신, 2008, 환경평가 제도 30년의 성과분석과 발전방향, 한국환경정책·평가연구원.
- 조용현, 조현길, 2002, 서울시 도시녹지의 대기정화효과, 한국환경복원녹화기술학회지, 5(4): 51-60.
- 조현길, 1999, 강원도 일부 도시의 경관내 탄소흡수 및 배출과 도시녹지의 역할, 한국조경학회지, 27(1): 39-53.
- 차경섭, 2006, 역학적 기법과 지리정보 시스템을 이용한 산사태 위험지 예측, 건축도시연구정보센터, 27-38.
- 차용진, 2008, 환경성과지수(EPI)에 대한 비판적 고찰: EPI 모형의 타당도 및 신뢰도 검토, 정책분석평가학회보, 18(3): 75-94.
- 최열, 박현정, 임하경, 2011, 여가행태 및 여가공간에 관한 선호 결정요인 분석, 국토계획, 46(4): 271-282.
- 최영국, 이범현, 오선영, 김태영, 문채, Wende, Wolfgang, Ohlenburg, Holger, Briffett, Clive, 엄정희, 권용석, 최재용, 이영환, 박희운, 2006, 국토의 자연 훼손 진단 및 대책에 관한 연구, 국토연구원.
- 최영국, 2007, 지속가능한 국토관리를 위한 자연훼손 저감방안 연구, 수도권연구, 4: 85-108.
- 최은영, 2010, GIS를 이용한 한국형 산사태 원인 분석, 공주대학교 대학원 석사학위논문.
- 최희선, 엄정희, 노백호, 이영준, 조공장, 박주현, 임영신, 2011, 공간환경계획에 기반한 광역계획의 전략환경평가 방안, 한국환경정책·평가연구원.
- 통계청, 2011, 2010 센서스 인구주택총조사.
- 하남시, 2010, 통계연보.
- 한국문화관광연구원, 2008, 여가 그리고 정책, 대왕사.

- 한국토지주택공사, 2010, 하남감일 보금자리주택지구 조성사업 환경영향평가서.
- 한국환경정책·평가연구원(KEI), 1999, 인공위성영상자료를 이용한 토지피복분류.
- 허성구, 김기성, 안재훈, 윤정숙, 임경재, 최종대, 신용철, 유창원, 2006, GIS기반의 모형을 이용한 도암댐 유역의 산림 파편화에 따른 수환경영향평가, 한국지리정보학회, 9(4): 81-94.
- 홍선기, 임영득, 장남기, 2000, 한국농산촌 경관의 구조와 이질성 및 다양성의 최근 변화: 경관의 보전과 복원과의 관계, 한국생태학회, 23(5): 359-368.
- 환경부, 2001, 표토보전 및 침식(유실)방지 대책에 관한 연구, (사)한국지반환경공학회.
- 환경부, 2004, 고령지발 비점오염 저감을 위한 종합대책.
- 환경부, 2005, 생태면적을 적용 지침.
- 환경부, 2006, 고령지발 비점오염원 최적 관리를 위한 조사사업, 강원대학교 산업협력단.
- 환경부, 2007, 스코핑제도 운영 및 발전방안 보고서.
- 환경부, 2008, 비점오염저감시설의 설치 및 관리·운영 매뉴얼.
- 환경부, 2011a, 환경백서.
- 환경부, 2011b, 환경영향평가 스코핑 가이드라인.
- 환경부, 2011c, 생태면적을 적용 지침 개정.
- 환경부, 2012, 환경영향평가법 전부개정법률안 설명자료.
- 황상일, 명수정, 조공장, 안정이, 박선환, 홍석영, 장용선, 손연구, 한경화, 2010, 식생과 토양의 역할을 고려한 저탄소 토지이용계획 수립방안 II, 한국환경정책·평가연구원.
- 황상일, 박선환, 2011, 탄소흡수원을 고려한 개발사업 환경영향평가방안(III)-보금자리주택 사업을 중심으로, 환경영향평가, 20(2): 233~246.
- Aall, C., 2005, The concept of indicators, Paper presented at a seminar within the EU project capacity building to enable the incorporation of urban sustainability parameters in spatial urban development and planning policy practices through the use of indicators (URBANGUARD), Nicosia, Cyprus: 8-9.

- Anton, C., Young, J., Harrison, P.A., Musche, M., Bela, G., Feld, C.K., Harrington, R., Haslett, J.R., Pataki, G., Rounsevell, M.D.A., Skourtos, M., Sousa, J.P., Sykes, M.T., Tinch, R., Vandewalle, M., Watt, A., and Settele, J., 2010, Research needs for incorporating the ecosystem service approach into EU biodiversity conservation policy, *Biodiversity and Conservation*, 19(10): 2979-2994.
- Aoyama, I., Nishizaki, H., and Yagi, M., 1986, Uptake of nitrogen and phosphate, and water purification capacity of water hyacinth, *Ber. Ohara Inst. Landw. Biol., Okayama University*, 19(2): 77-89.
- Balmford, A., Green, R.E., and Jenkins, M., 2003, Measuring the changing state of nature, *Trends in ecology and evolution*, 18(7): 326-330.
- Balmford, A., Rodrigues, A., Walpole, M., Ten Brink, P., Kettunen, M., Braat, L., and De Groot, R., 2008, Review on the Economics of Biodiversity Loss: Scoping the science, Pre-publication version of May, 19: 2008.
- Boyd, J., and Banzhaf, S., 2007, What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units, *Ecological Economics*, 63(2): 616-626.
- Clark, P.J., and Evans, F.C., 1954, Distance to nearest neighbor as a measure of spatial relationships in populations, *Ecology*, 35(4): 445-453.
- Collinge, S.K., 1996, Ecological consequences of habitat fragmentation: implications for landscape architecture and planning, *Landscape and Urban Planning*, 36(1): 59-77.
- Cook, E.A., 2002, Landscape structure indices for accessing urban ecological network, *Landscape and Urban Planning*, 58: 269-280.
- Cornwell, D.A., Zoltek Jr, J., Patrinely, C.D., Furman, T.D., and Kim, J.I., 1977, Nutrient removal by water hyacinths, *Journal Water Pollution*

- Control Federation, 57-65.
- Costanza, R., d'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P., and van den Belt, M., 1997, The value of the world's ecosystem services and natural capital, *Nature*, 387: 253-260.
- Costanza, R., and Folke, K., 1997, Valuing ecosystem services with efficiency, fairness, and sustainability as goals, *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*, Island Press, Washington DC, 49-70.
- Daily, G.C., 1997, Introduction: What are ecosystem services? In: *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*, G.C.Daily (ed.), Island Press, Washington, DC: 1-10.
- Daily, G.C., 1999, Developing a scientific basis for managing Earth's life support systems, *Conservation Ecology*, 3(2): 14.
- Daily, G.C., Polasky, S., Goldstein, J., Kareiva, P.M., Mooney, H.A., Pejchar, L., Ricketts, T.H., Salzman, J., and Shallenberger, R., 2009, Ecosystem services in decision making: time to deliver, *Frontiers in Ecology and the environment*, 7(1): 21-28.
- DeBusk, T.A., Reddy, K.R., Hayes, T.D., and Schwegler, B.R., 1989, Performance of a pilot-scale hyacinth-based secondary treatment system, *Journal Water Pollution Control Federation*, 1217-1224.
- De Groot, R.S., 1987, Environmental functions as a unifying concept for ecology and economics, *Environmentalist*, 7(2): 105-109.
- De Groot, R.S., Wilson, M., and Boumans, R.M., 2002, A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services, *Ecological Economics*, 41(3): 393-408.
- De Groot, R.S., 2006, Function-analysis and valuation as a tool to assess land use conflicts in planning for sustainable, multi-functional landscapes, *Landscape and Urban Planning*, 75(3):

175-186.

- De Groot, R.S., Alkemade, R., Braat, L., Hein, L., and Willemen, L., 2010, Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making, *Ecological Complexity*, 7(3): 260-272.
- Diaz, S., Fargione, J., Chapin III, F.S., and Tilman, D., 2006, Biodiversity loss threatens human well-being, *Plos Biology*, 4(8): 1300-1305.
- Ehrlich, P.R., Ehrlich, A.H., and Holdren, J.P., 1977, *Ecoscience: Population, Resources, Environment*, San Francisco(W.H. Freeman).
- Ehrlich, P.R., and Ehrlich, A.H., 1981, *Extinction: the causes and consequences of the disappearance of species*, Random House, New York.
- Esty, D.C., Levy, M.A., Kim, C.H., de Shebinin, A., Srebontnjak, T., and Mara, V., 2008, *Environmental performance index*, New haven, Yale center for environmental law and policy.
- Farber, S., Costanza, R., Childers, D.L., Erickson, J., Gross, K., Grove, M., Hopkinson, C.S., Kahn, J., Pincetl, S., Troy, A., Warren, P., and Wilson, M., 2006, Linking ecology and economics for ecosystem management, *BioScience*, 56(2): 121-133.
- Feld, C.K., Sousa, J.P., da Silva, P.M., Dawson, T.P., 2010, Indicators for biodiversity and ecosystem services: towards an improved framework for ecosystems assessment, *Biodiversity and Conservation*, 19(10): 2895-2919.
- Fisher, B., and Kerry Turner, R., 2008, Ecosystem services: classification for valuation, *Biological Conservation*, 141(5): 1167-1169.
- Fisher, B., Turner, R.K., and Morling, P., 2009, Defining and classifying ecosystem services for decision making, *Ecological economics*, 68(3): 643-653.
- Forman, R.T., and Godron, M., 1986, *Landscape Ecology*, John Wiley.

- Forman, R.T., 1995, Land mosaics: the ecology of landscape and regions, Cambridge University Press.
- Geneletti, D., 2011, Reasons and options for integrating ecosystem services in strategic environmental assessment of spatial planning, *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 7(3): 143-149.
- Giovannini, E., Nardo, M., Saisana, M., Saltelli, A., Tarantola, A., and Hoffman, A., 2008, Handbook on constructing composite indicators: methodology and user guide, Organization for Economic Cooperation and Development(OECD).
- Gómez-Baggethun, E., De Groot, R.S., Lomas, P.L., and Montes, C., 2010, The history of ecosystem services in economic theory and practice: from early notions to markets and payment schemes, *Ecological Economics*, 69(6): 1209-1218.
- Gustafson, E.J., and Parker, G.R., 1992, Relationships between landcover proportion and indices of landscape spatial pattern, *Landscape ecology*, 7(2): 101-110.
- Gustafson, E.J., and Gardner, R.H., 1996, The Effect of Landscape Heterogeneity on the Probability of Patch Colonization, *Ecology*, 77(1): 94-107.
- Haines-Young, R., and Potschin, M., 2008, England's terrestrial ecosystem services and the rationale for an ecosystem service approach, Report to Defra.
- Haines-Young, R., and Potschin, M., 2010, The links between biodiversity, ecosystem service and human well-being, in Raffaelli, D.G. and Frid, C.L.J., eds., *Ecosystem Ecology: A New Synthesis*, *Ecological Reviews*: 110-139.
- Harrison, P.A., 2010, Ecosystem services and biodiversity conservation: an introduction to the RUBICODE project, *Biodiversity and*

- Conservation, 19(10): 2767-2772.
- Hermann, A., Schleifer, S., and Wrabka, T., 2011, The concept of ecosystem services regarding landscape research: a review, *Living Reviews in Landscape Research*, 5(1): 1-37.
- Huang, Y.J., Akbari, H., Taha, H., and Rosenfeld, A.H., 1987, The potential of vegetation in reducing summer cooling loads in residential building, *Journal of Applied Meteorology*, 26: 1103-1116.
- Hudson, G.D., 1936, The unit area method of land classification, *Annals of the Association of American Geographers*, 26(2): 99-112.
- Kadlec, R.H., 1987, The hydrodynamics of wetland water treatment systems, *Aquatic plants for water treatment and resource recovery*, Reddy, K.R., ed., Magnolia, Orlando, Fla., 373-392.
- Kahn Jr, P.H., and Kellert, S.R., 2002, *Nature and children development*, Cambridge.
- Kellert, S.R., and Wilson, E.O., 1993, The biological basis for human values of nature, *The biophilia hypothesis*, 42-69.
- Kohn, D.D., and Walsh, D.M., 1994, Plant species richness-the effect of island size and habitat diversity, *Journal of Ecology*, 82(2): 367-377.
- Kremen, C., 2005, Managing ecosystem services: what do we need to know about their ecology? *Ecology Letters*, 8(5): 468-479.
- Landsberg, F., Ozment, S., Stickler, M., Henninger, N., Treweek, J., Venn, O., and Mock, G., 2011, *Ecosystem services review for impact assessment: introduction and guide to scoping*, World Resources Institute, Washington, DC., <http://www.wri.org/publication/ecosystem-services-review-for-impactassessment>.
- Lakshman, G., 1979, An ecosystem approach to the treatment of waste waters, *Journal of Environmental Quality*, 8(3): 353-361.
- Latimer, W., 2009, Assessment of biodiversity at the local scale for

- environmental impact assessment and land-use planning, *Planning, Practice & Research*, 24(3): 389-408.
- Lee, J.T., Woddy, S.J., and Thompson, S., 2001, Targeting sites for conservation: using a patch-based ranking scheme to assess conservation potential, *Journal of Environmental Management*, 61(4): 367-380.
- Lee, S.M., and Odum, H.T., 1994, Emergy analysis overview of Korea, *Journal of the Korean Environmental Sciences Society*, 3(2): 165-175.
- Leh, M.D., Matlock, M.D., Cummings, E.C., and Nalley, L.L., 2013, Quantifying and mapping multiple ecosystem services change in West Africa, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 165: 6-18.
- Li, X., Lu, L., Cheng, G., and Xiao, H., 2001, Quantifying landscape structure of the Heihe River Basin, north-west China using FRAGSTATS, *Journal of Arid Environments*, 48(4): 521-535.
- Lomolino, M.V., and Weiser, M.D., 2001, Towards a more general species-area relationship: diversity on all island, great and small, *Journal of Biogeography*, 28(4): 431-445.
- Luck, G.W., Daily, G.C., and Ehrlich, P.R., 2003, Population diversity and ecosystem services, *Trends in Ecology and Evolution*, 18(7): 331-336.
- Luck, G.W., Harrington, R., Harrison, P.A., Kremen, C., Berry, P.M., Bugter, R., Dawson, T.R., de Bello, F., Diaz, A., Feld, C.K., Haslett, J.R., Hering, D., Kontogianni, A., Lavorel, S., Rounsevell, M., Samways, M.J., Sandin, L., Settele, J., Sykes, M.T., Van Den Hove, S., Vandewalle, M., and Zobel, M., 2009, Quantifying the contribution of organisms to the provision of ecosystem services, *Bioscience*, 59(3): 223-235.
- MA(Millennium Ecosystem Assessment), 2003, *Ecosystems and Human Well-being: A Framework for Assessment*, Millennium Ecosystem

- Assessment Series, Washington, DC(Island Press), Google Books.
- MA(Millennium Ecosystem Assessment), 2005, Ecosystems and Human Well-being: Multiscale Assessment, Millennium Ecosystem Assessment Series, 4, Washington, DC(Island Press), Google Books.
- Mäler, K.G., Aniyar, S., and Jansson, Å., 2008, Accounting for ecosystem services as a way to understand the requirements for sustainable development. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(28): 9501-9506.
- Marcus, C.C., 1992, Environmental Memories, *Human behavior and environment*, 12: 87-112.
- Matsushita, B., Xub, M., and Fukushima, T., 2006, Characterizing the changes in landscape structure in the Lake Kasumigaura Basin, Japan using a high-quality GIS dataset, *Landscape and Urban Planning*, 78(3): 241-250.
- Nardo, M., Saisana, M., Saltelli, A., Tarantola, S., Hoffman, A., Giovannini, E., 2005, Handbook on constructing composite indicators: methodology and user guide, OECD Statistics Working Papers, 2005/3, OECD Publishing.
- Nelson, G.C., Bennett, E., Berhe, A.A., Cassman, K.G., DeFries, R., Dietz, T., Dobson, A., Dobermann, A., Janetors, A., Levy, M., Marco, D., Nakićenović, N., O'Neill, B., Norgaard, R., Petschel-Held, G., Ojima, D., Pingali, P., Watson, R., and Zurek, M., 2005, Drivers of change in ecosystem condition and services, In: Carpenter, S., Pingali, P.L., Bennett, E.M. et al. (eds) *Ecosystems and human well-being: scenarios*, vol 2. Millennium ecosystem assessment, Island Press, Washington, D.C.: 173-222.
- Odum, E.P., 1959, *Fundamentals of ecology*, Philadelphia: W.B. Saunders Company, 546.
- Odum, H.T., 1983, *System Ecology*, Wiley, New York, 644.

- Odum, H.T., and Nilsson, P.O., 1996, Environmental accounting: emergy and environmental decision making, John Wiley & Sons, New York, 370.
- OECD(Organisation for Economic Co-Operation and Development), 1991, OECD Environmental Indicators: a Preliminary set.
- OECD, 2009, Green Growth: Overcoming the crisis and beyond.
- Palmer, M., Bernhardt, E., Chornesky, E., Collins, S., Dobson, A., Duke, C., Gold, B., Jacobson, R., Kingsland, S., Kranz, R., Mappin, M., Martinez, M.L., Micheli, F., Morse, J., Pace, M., Pascual, M., Palumbi, S., Reichman, O.J., Simons, A., Townsend, A., and Turner, M., 2004, Ecology for a crowded planet, *Science*, 304: 1251-1252.
- Parton, W.J., Schimel, D.S., Cole, C.V., and Ojima, D.S., 1987, Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great Plains grasslands, *Soil Science Society of America Journal*, 51(5): 1173-1179.
- Peterseil, J., Wrška, T., Plutzer, C., Schmitzberger, I., Kiss, A., Szerencsits, E., Peiter, K., Schneider, W., Suppan, F., and Beissmann, H., 2004, Evaluating the ecological sustainability of Austrian agricultural landscapes—the SINUS approach, *Land Use Policy*, 21(3): 307-320.
- Pielou, E.C., 1977, *Mathematical Ecology*, New York, Wiley.
- Poudyal, N.C., Hodges, D.G., and Merrett, C.D., 2009, A hedonic analysis of the demand for and benefits of urban recreation parks, *Land Use Policy*, 26(4): 975-983.
- Profous, G.V., 1992, Tree and urban forestry in Beijing China, *Journal of Arboriculture*, 18(3): 145-153.
- Rapport, D., Costanza, R., Epstein, P.R., Gaudet, C., and Levins, R., 1998, *Ecosystem Health*, Blackwell Science, Malden, Massachusetts, 5: 82-90.
- Reddy, K.R., Sutton, D.L., and Bowes, G., 1983, Biomass production of

- freshwater aquatic plants in Florida, *Proc. Soil. Crop. Sci. Soc. Florida*, 42: 28-40.
- Rounsevell, M.D.A., Dawson, T.P., and Harrison, P.A., 2010, A conceptual framework to assess the effects of environmental change on ecosystem services, *Biodiversity and Conservation*, 19(10): 2823-2842.
- Saaty, T.L., 1980, *The analytic hierarchy process*, New York, McGraw-Hill.
- Saaty, T.L., 1982, The analytic hierarchy process: A new approach to deal with fuzziness in architecture, *Architecture Science Review*, 25(3): 64-69.
- Schroeder, P., Brown, S., Mo, J., Birdsey, R., and Cieszewski, C., 1997, Biomass estimation for temperate broadleaf forests of the United States using inventory data, *Forest Science*, 43(3): 424-434.
- Seppelt, R., Dormann, C.F., Eppink, F.V., Lautenbach, S., and Schmidt, S., 2011, A quantitative review of ecosystem service studies: approaches, shortcomings and the road ahead, *Journal of Applied Ecology*, 48(3): 630-636.
- Shannon, C.E., and Weaver, W., 1949, *The mathematical theory of communication*, Urbana, IL. University of Illinois Press.
- Smith, W.H., 1990, *Air Pollution and Forests*(2nd ed.), Springer-Verlag, New York.
- Spellerberg, I.F., 1994, *Evaluation and assessment for conservation: ecological guidelines for determining priorities for nature conservation*, vol 4, Springer.
- TEEB, 2010, *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations*, Kumar, P., ed., London (Earthscan).
- Triantis, K.A., Mylonas, M., Lika, K., and Vardinoyannis, K., 2003, A model for the species-area-habitat relationships, *Journal of Biogeography*, 30(1): 19-27.
- Tripathi, B.D., Srivastava, J., and Misra, K., 1991, Nitrogen and

- phosphorus removal-capacity of four chosen aquatic macrophytes in tropical freshwater ponds, *Environmental Conservation*, 18(2): 143-147.
- Troll, C., 1968, Landschaftsökologie, In: Tuexen R(ed) *Pflanzensoziologie und Landschaftsökologie*, Ber 7, Intern Symp IVV, Junk, The Hague: 1-21.
- Turner, M.G., 1989, Landscape ecology: the effect of pattern on process, *Annual Review of Ecology and Systematics*, 20: 171-197.
- Turner, R.K., and Daily, G.C., 2008, The ecosystem services framework and natural capital conservation, *Environmental and Resource Economics*, 39(1): 25-35.
- Ulgianti, S., Odum, H.T., and Bastianoni, S., 1994, Emergy use, environmental loading and sustainability an emergy analysis of Italy, *Ecological Modelling*, 73(3): 215-268.
- UNCSD, 1996, Indicators of sustainable development framework and methodologies.
- US SCS, 1985, National Engineering Handbook, Section 4, Hydrology, U.S. Department of Agriculture, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
- US SCS, 1986, Urban Hydrology for Small Watersheds, Technical Release No. 55(TR-55), U.S. Department of Agriculture, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
- Vargas, L.G., 1990, An overview of the analytic hierarchy process and its applications, *European Journal Operational Research*, 48(1): 2-8.
- Vihervaara, P., Rönkä, M., and Walls, M., 2010, Trends in ecosystem service research: early steps and current drivers, *Ambio*, 39(4): 314-324.
- von Haaren, C., and Albert, C., 2011, Integrating ecosystem services and environmental planning: limitations and synergies, *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*,

7(3): 150-167.

Wackernagel, M., and Rees, W.E., 1996, Our ecological footprint: reducing human impact on the earth, New society publishers.

Wackernagel, M., Onisto, L., Bello, P., Callejas inares, A., Susana López Falfán, I., Méndez García, J., Isabel Suárez Guerrero, A., and Guadalupe Suárez Guerrero, M., 1999, National natural capital accounting with the ecological footprint concept, Ecological Economics, 29(3): 375-390.

Wallace, K.J., 2007, Classification of ecosystem services: problems and solutions, Biological Conservation, 139(3): 235-246.

WCED(World Commission on Environment and Development), 1987, Our common future, Oxford university press, Oxford.

Whitcomb, R.F., Robbins, C.S., Lynch, J.F., Whitcomb, B.L., Klimkiewicz, M.K., and Bystrak, D., 1981, Effects of forest fragmentation on avifauna of the Eastern Deciduous Forest, Springer-Verlag, New York, USA.

Wolverton, B.C., and McDonald, R.C., 1979, Upgrading facultative wastewater lagoons with vascular aquatic plants, Journal Water Pollution Control Federation, 51: 305-313.

Yoo, G., and Wander, M.M., 2008, Tillage effects on aggregate turnover and sequestration of particulate and humified soil organic carbon, Soil Science Society of America Journal, 72(3): 670-676.

<http://eiass.go.kr> (환경부 환경영향평가정보지원시스템)

<http://www.law.go.kr> (법제처 홈페이지)

<http://www.mltm.go.kr> (국토교통부 홈페이지)

<http://newsplus.go.kr> (보금자리주택 홈페이지)

<http://www.esindicators.org> (Ecosystem service indicators database).

<http://www.rubicode.net> (Rationalising Biodiversity Conservation in Dynamic Ecosystems-project(RUBICODE-project))

부 록

부록 1. 생태계서비스 평가항목 선정을 위한 조사자료

전문가 인터뷰 자료(2012년 5월 9일)

생태계서비스의 평가항목 선정

1. 인터뷰 개요

- 목적 : 개발사업으로 인한 생태계 서비스의 영향을 평가하는 도구로써 생태계서비스 평가지표를 개발하기 위해 우선 중분류 평가항목 선정
- 방법 : 항목 선정을 위한 기초자료는 현재 보편적으로 인용되고 있는 새천년생태계평가(MA, 2005)와 De Groot. et al(2010)의 생태계 서비스 분류를 적용
- 결과 : 생태계서비스 평가지표를 선정하는 기초자료로 활용

2. 생태계 서비스 평가항목의 적합성 평가

- 생태계서비스는 생태계의 다양한 기능들이 인간에게 주는 혜택으로써 새천년생태계평가(MA, Millennium Ecosystem Assessment)에 따르면 다음 4가지로 크게 구분

서비스 분류	설 명
공급서비스	음식, 마실 수 있는 물, 목재, 섬유질 등을 공급
조절서비스	기후조절, 홍수조절, 질병조절, 수질정화 등의 조절기능
지원서비스	토양의 생성, 광합성 등의 기본적인 생태계의 기능
문화서비스	아름다운 자연경관, 종교나 성소의 장소, 교육의 장소, 여가 등을 제공

- 서비스 분류에 속하는 생태계서비스의 다음 항목 중에서 단지규모 개발사업으로 인한 영향을 평가하기에 적합하다고 판단하는 항목을 선택
 - 적합성 평가는 지표의 요건에 해당하는 대표성, 측정용이성, 정량성을 기준으로 평가(5점 척도)

대표성	5점(매우 그렇다)... 1점(그렇지 않다)	측정용이성 · 정량성	5점(매우 용이)... 1점(용이하지 않음)
-----	-----------------------------	----------------	-----------------------------

- 수정, 추가, 통합 또는 삭제 의견이 있는 경우 직접 기입 가능

1) 공급서비스 평가항목

항목		내용설명	적합성	
MA(2005)	De Groot et al. (2010)		대표성 (1~5)	측정용이성, 정량성(1~5)
음식	음식	먹을 수 있는 식물과 동물의 양		
담수	용수	이용할 수 있는 수자원의 양		
섬유 바이오매스 연료	섬유, 연료, 다른 원료물질	생물종 또는 무생물 구성요소의 양 (목재, 연료, 원료물질의 잠재적 사용)		
유전자원	유전물질	유용한 유전물질을 가진 생물종의 양 (유전자은행의 가치)		
생화학 약품, 자연약재 등	생화학 생산물과 자연약재	생물종 또는 유용한 화학물질 및 약효가 있는 자원의 확보		
장식품	장식용 생물종과 자원	생물종 또는 관상용 무생물 자원의 확보		

수정 항목 제안	
추가 항목 제안	
통합 항목 제안	
삭제 항목 제안	

2) 조절서비스 평가항목

항목		내용설명	적합성	
MA(2005)	De Groot et al.(2010)		대표성 (1~5)	측정용이성, 정량성(1~5)
공기정화조절	공기정화조절	대기로부터 화학물질을 흡수하는 생태계의 수용력		
기후조절	기후조절	토지피복과 생물매개과정을 통한 지표면의 기후완화 및 대기중 기후완화(지역과 지구기후에 대한 생태계의 영향)		
폭풍우 보호	자연재난완화	자연재해를 약화시키는 생태계의 역할		
물 조절	물 조절	물을 흡수하고 배출하는 생태계의 역할(토양의 수분보유)		
수질정화 및 폐기물 처리	폐기물 처리	생물과 무생물적 과정에 의한 유기물질의 제거 또는 분해		
침식조절	침식조절	토양을 유지하는 식물과 생물의 역할		
(지원서비스로 분류)	토양형성과 재생*	자연적 과정에 의한 토양형성과 재생		
식물의 수분	식물의 수분	수분종(꽃가루 매개자)의 양과 효율성-곤충의 종수로 대체		
인간 질병 조절	생물학적 조절	영양관계를 통한 해충개체조절 (인간, 가축의 질병조절)		

* MA에서는 토양형성과 재생을 지원서비스로 분류

수정 항목 제안	
추가 항목 제안	
통합 항목 제안	
삭제 항목 제안	

3) 지원서비스 평가항목

중분류		내용설명	적합성	
MA(2005)	De Groot et al. (2010)		대표성 (1~5)	측정용이성, 정량성(1~5)
서식지 제공	서식처	번식과 먹이 공간을 제공하는 생태계의 중요성 또는 이주종의 휴식 서식처		
-	유전자풀 보호	생태적 균형과 진화과정의 유지		
영양염 순환	-			
토양생성과 보류	(조절서비스로 분류)	자연적 과정에 의한 토양형성과 재생		
광합성	-			
일차생산	-			
물순환	-			

수정 항목 제안	
추가 항목 제안	
통합 항목 제안	
삭제 항목 제안	

4) 문화서비스 평가항목

중분류		내용설명	적합성	
MA(2005)	De Groot et al. (2010)		대표성 (1~5)	측정용이성, 정량성(1~5)
미적가치	미적가치	경관의 심미적 질(구조적 다양성, 푸르름, 평온 등에 기초)		
레크리에이션과 생태관광	레크리에이션과 관광	여가활동을 할 수 있는 야생경관의 제공		
영감	문화, 예술, 디자인을 위한 영감	인간의 예술을 위해 경관형태 또는 생물종이 가지는 영감가치		
문화유산과 생물 다양성, 장소성	문화유산과 고유성	경관형태와 생물종의 문화적 중요성		
정신적, 종교적 가치	정신적, 종교적 영감	정신적, 종교적 가치를 지닌 경관형태 또는 생물종		
교육적 가치 지식체계	교육과 과학의 기회	특별한 교육형태와 과학적 가치/흥미		

수정 항목 제안	
추가 항목 제안	
통합 항목 제안	
삭제 항목 제안	

<참고자료>

□ 생태계서비스 예비 평가지표 목록

분류(23)	항목	예비 지표
공급서비스 (6)-⑨	음식(2)	농산물의 양 경작지율 하천길이
	담수(3)	저수지 표면적 우수 저류량
	섬유, 연료, 다른 원료물질	(4) 식생종 다양성 순생산량 식물현존량 유용물질의 추출량
	유전물질	
	생화학 생산물과 자연 약재	
	장식용 생물종과 자원	
조절서비스 (9)-⑳	공기정화조절(2)	SO ₂ 흡수량 NO ₂ 흡수량
	기후조절(3)	바람생성 열쾌적성 녹지율
	자연재난완화(4)	고도 경사도 연약지반 지형변화율
	물 조절(2)	투수성 물 집적능
	폐기물 처리(2)	수변완충공간 비점오염저감능
	침식보호(3)	식생피복 지형변동 토심
	토양형성과 재생(2)	지연지형보전률 표토재활용률
	식물의 수분(1)	수분종(곤충)의 수
	생물학적 조절(1)	생물종의 수
지원서비스 (2)-⑨	서식처(4)	생물서식공간 생물서식공간의 연결성 훼손수목률 동물의 서식지역 보전
	유전자풀 보호(5)	고유종비율 녹지자연도 6등급이상 보전면적 생태면적률 종 다양도 종 풍부도
문화서비스 (6)-㉓	미적가치:자연풍경의 감상(3)	인지된 경관의 다양성 내부 녹지환경의 연계성 주변경관과 연계성
	휴양, 관광 또는 여가활동의 기회 (3)	보행공간 자전거이동공간 휴식공간
	문화, 예술, 디자인을 위한 영감(2)	식물구계학적 특정식물 특이 지형, 지질
	문화유산과 고유성(3)	법정 보호종 법정 보호지역 역사자원
	정신적, 종교적 영감(1)	경관/생물종의 정신적, 종교적 가치
	교육과 과학의 기회(1)	교육면적률

부록 2. 생태계서비스 평가지표 선정을 위한 조사자료

2차 전문가 인터뷰

개발사업에 따른 생태계서비스 평가지표 선정을 위한 전문가 인터뷰(2차)

1. 생태계서비스 평가지표의 대표성

- ◇ 생태계서비스는 아래와 같이 생태계의 다양한 기능들이 인간에게 주는 혜택으로써 새천년생태계평가(MA, Millennium Ecosystem Assessment)에 따른 4가지 서비스에 대하여 1차 전문가 심층 인터뷰를 거쳐 평가항목을 선정하였습니다.
 - 공급서비스 : 식량, 용수, 바이오매스, 생물자원
 - 조절서비스 : 대기정화조절, 기후조절, 자연재난완화, 가뭄조절, 자연정화조절, 침식조절
 - 지원서비스 : 서식지제공, 일차생산, 물순환
 - 문화서비스 : 경관, 레크리에이션과 생태관광, 문화유산, 교육적 가치
- ◇ 개발 사업에 따른 생태계 서비스의 영향 평가를 실시하기 위해 문헌연구를 통해 도출한 영향평가지표의 **대표성**을 평가하고자 합니다.
- ◇ 단지규모 개발 사업 전·후 생태계 서비스에 미치는 영향을 평가하기에 적합하다고 판단하는 아래 생태계서비스 지표의 대표성에 대하여 평가해 주시기 바랍니다.
 - 기재 방식은 각 지표가 평가항목을 대표하는 정도에 따라 **지표별로 하나만 선택하여** √표하여 주십시오. 또한 **대체, 삭제 등에 대한 의견이 있으시면 직접** 기입해 주시기 바랍니다.

1) 공급서비스에 대한 생태계 서비스 평가지표의 대표성

평가 항목	평가지표		대표성					의견 (대체 삭제 등)
	지표	내용 설명	대표하지 않음... 대표함					
식량	경작지 면적	대상지내 경작지(뒷밭)가 차지하고 있는 면적	①	②	③	④	⑤	
용수	유역의 수	개발사업이 영향을 미치는 유역의 수	①	②	③	④	⑤	
	유역 면적	대상지가 유역에서 차지하는 면적 (집수역)	①	②	③	④	⑤	
	하천길이	대상지내 하천길이 변화	①	②	③	④	⑤	
	우수 저류량	단위면적당 침사지 또는 저류지용량	①	②	③	④	⑤	
바이오 매스	식 물 현 존 량 변화	대상지내 식물현존량의 변화	①	②	③	④	⑤	
생물자원	자연성	대상지의 6등급이상 녹지자연도 면적	①	②	③	④	⑤	
	고유종	대상지내 생물종 중 고유종 수	①	②	③	④	⑤	
	종다양성	대상지내 생물의 종 다양도지수	①	②	③	④	⑤	
	풍부도	대상지내 풍부도 지수	①	②	③	④	⑤	
	식물구계학적 특정식물	대상지내 식물구계학적 특정식물 분류군 수	①	②	③	④	⑤	

<의견 기재>

2) 조절서비스에 대한 생태계 서비스 평가지표의 대표성

평가 항목	평가지표		대표성					의견 (다제 삭제등)
	지표	내용 설명	대표하지 않음..대표함					
대기정화 조절	SO ₂ 흡수량	대상지내 도시녹지의 SO ₂ 흡수량	①	②	③	④	⑤	
	NO ₂ 흡수량	대상지내 도시녹지의 NO ₂ 흡수량	①	②	③	④	⑤	
기후조절	바람생성	대상지내 찬공기(바람)의 생성가능성 *기후특지도 이용	①	②	③	④	⑤	
	열쾌적성	대상지내 토지이용형태에 따른 열쾌적성지수	①	②	③	④	⑤	
	녹지면적	대상지내 미기후 완화에 기여하는 녹지의 양	①	②	③	④	⑤	
자연재난 완화	급경사지 면적	대상지내 20도 이상인 급경사지가 차지하고 있는 면적	①	②	③	④	⑤	
	연약지반 면적	대상지의 연약지반이 차지하고 있는 면적	①	②	③	④	⑤	
	지형 변화 면적	대상지 개발로 인해 지형이 변화된 면적	①	②	③	④	⑤	
가뭄조절	투수성 면적	대상지의 투수가능 면적	①	②	③	④	⑤	
	물 집적능	물이 토양으로 집적 및 흡수되는 정도 *지형습윤지수 이용	①	②	③	④	⑤	
자연정화 조절	수변완충공간 면적	대상지의 수변완충공간 면적	①	②	③	④	⑤	
	비점오염저감능	대상지내 자연형 비점오염저감시설의 수	①	②	③	④	⑤	
침식조절	식생피복면적	대상지의 뿌리기반 식생피복면적	①	②	③	④	⑤	
	지형변동량	대상지의 단위면적당 전체 토공량(각기량+쌓기량)	①	②	③	④	⑤	
	토심	대상지의 평균유효토심	①	②	③	④	⑤	

<의견 기재>

3) 지원서비스에 대한 생태계 서비스 평가지표의 대표성

평가 항목	평가지표		대표성					의견 (대체 삭제 등)
	지표	내용 설명	대표하지	않음..	대표함			
서식지 제공	생물서식면적	대상지내 녹지면적 중 교목, 관목, 초본이 상존하고 인간의 간섭이 없는 면적	①	②	③	④	⑤	
	생물서식공간의 연결성	대상지내 단절된 생물서식 가능녹지의 수	①	②	③	④	⑤	
	자연지형보전률	대상지내 자연지형 보존면적	①	②	③	④	⑤	
일차생산	순생산량	대상지내 일정기간에 생산된 순생산량	①	②	③	④	⑤	
물순환	유역변형면적	대상지내 기존 하천유역 중 변형되는 면적	①	②	③	④	⑤	

<의견 기재>

4) 문화서비스에 대한 생태계 서비스 평가지표의 적합성

평가 항목	평가지표		대표성					의견 (대체 삭제 등)
	지표	내용 설명	대표하지	않음..	대표함			
경관	인지된 경관의 다양성	대상지내 인지된 경관형태의 수	①	②	③	④	⑤	
	내부 녹지환경의 연계성	대상지 내부 녹지체계간의 연결정도(단절/보통/연결)	①	②	③	④	⑤	
	주변경관과의 연계성	대상지 경계지역과 주변지역 녹지간의 연결된 길이	①	②	③	④	⑤	
레크리에이션과 생태관광	보행공간	대상지내 보행자전용도로(산책로, 조깅코스 등)길이	①	②	③	④	⑤	
	휴식공간	대상지내 피크닉 광장(공원 및 광장) 면적	①	②	③	④	⑤	
문화유산	법정 보호종	대상지내 법정보호종의 수	①	②	③	④	⑤	
	법정 보호지역과의 거리	대상지에서 가장 가까운 법정보호지역의 거리	①	②	③	④	⑤	
	특이 지질·지형	대상지내 문화적, 예술적 보전가치 있는 지형·지질 및 특이지형 형상의 존재	①	②	③	④	⑤	
교육적 가치	교육 면적	대상지내 교육가능면적(어린이공원, 생태학습, 자연학습원 등) 비율	①	②	③	④	⑤	

<의견 기재>

2. 생태계서비스 평가지표의 측정용이성

- ◇ 단지규모 개발사업 전·후 생태계 서비스에 미치는 영향을 평가하기 위한 생태계서비스 지표의 측정용이성에 대하여 평가해 주시기 바랍니다.
- 기재 방식은 각 지표가 개발사업 전·후의 생태계 서비스의 영향에 대하여 측정이 용이한 정도에 따라 지표별로 하나만 선택하여 √표하여 주십시오.
또한 측정이 어려운 경우 대체, 수정 등에 대한 의견이 있으시면 직접 기입해 주시기 바랍니다.

1) 공급서비스에 대한 생태계 서비스 평가지표의 측정용이성

평가 항목	평가지표		측정용이성					
	지표	산출방법	어려움 쉬움					의견 (대체 수정 등)
식량	경작지 면적	경작지(덧밭)면적	①	②	③	④	⑤	
용수	유역의 수	영향을 미치는 유역의 수	①	②	③	④	⑤	
	유역 면적	유역(집수역)에서차지하는면적	①	②	③	④	⑤	
	하천길이	하천의 길이	①	②	③	④	⑤	
	우수 저류량	침사지+저류지용량	①	②	③	④	⑤	
바이오매스	식물현존량 변화	식물현존량	①	②	③	④	⑤	
생물자원	자연성	6등급이상 녹지자연도 면적	①	②	③	④	⑤	
	고유종	고유종수/대상지내전체생물종수	①	②	③	④	⑤	
	종다양성	생물의 종 다양도 지수	①	②	③	④	⑤	
	풍부도	풍부도 지수	①	②	③	④	⑤	
	식물구계학적 특정식물	식물구계학적 특정식물 분류군의 수	①	②	③	④	⑤	

<의견 기재>

2) 조절서비스에 대한 생태계 서비스 평가지표의 측정가능성

평가 항목	평가지표		측정용이성					
	지표	산출방법	어려움 쉬움					의견 (대체 수정 등)
대기정화조절	SO ₂ 흡수량	녹지면적×SO ₂ 흡수량원단위(8.3kg/ha/yr=0.83g/m ² /yr) ※ 서울시 도시녹지의 연간 흡수량 원단위 적용	①	②	③	④	⑤	
	NO ₂ 흡수량	녹지면적×NO ₂ 흡수량원단위(21.8kg/ha/yr=2.18g/m ² /yr)	①	②	③	④	⑤	
기후조절	바람생성	기후통지도에 의한 찬공기 생성가능성 산정 ※ 토지이용형태에 따라 공간구분 - GIS자료 이용	①	②	③	④	⑤	
	열쾌적성	토지이용형태,기상자료에 따른 열쾌적성지수	①	②	③	④	⑤	
	녹지면적	녹지면적 ※녹지면적=순수원형보전(묘지제외)+조성녹지+공원녹지(보행자도로제외)	①	②	③	④	⑤	
자연재난완화	급경사지면적	급경사지면적(경사20°이상)	①	②	③	④	⑤	
	연약지반면적	연약지반면적	①	②	③	④	⑤	
	지형변화면적	지형변화면적 ※지형변화면적=대상지면적-원형보전면적	①	②	③	④	⑤	
가뭄조절	투수성 면적	투수성면적 ※투수성면적=비건축면적+투수성포장면적	①	②	③	④	⑤	
	물 집적능	지형습윤지수(TWI)=ln(A/tanβ) ※ A는 침수면적, tanβ는 경사(라디안으로표현) - GIS자료이용	①	②	③	④	⑤	
자연정화조절	수변완충공간면적	수변완충공간면적	①	②	③	④	⑤	
	비점오염저감능	자연형 비점오염저감시설 개소수	①	②	③	④	⑤	
침식조절	식생피복면적	뿌리기반 식생피복면적	①	②	③	④	⑤	
	지형변동량	전체 토공량(깎기량+쌓기량)	①	②	③	④	⑤	
	토심	평균유효토심 - GIS 자료 이용	①	②	③	④	⑤	
<의견 기재>								

3) 지원서비스에 대한 생태계 서비스 평가지표의 측정가능성

평가 항목	평가지표		측정용이성					의견 (대체, 수정 등)
	지표	산출방법	어려움 쉬움					
서식지 제공	생물서식면적	생물서식가능한 녹지면적 ※ 생물서식가능한 녹지면적=교목, 관목, 초본이 상존하고 인간의 직접적 간섭이 없는 면적	①	②	③	④	⑤	
	생물서식공간 의 연결성	단절된 생물서식가능녹지의 수	①	②	③	④	⑤	
	자연지형보전 률	자연지형보존면적 ※원형보전녹지(묘지포함)	①	②	③	④	⑤	
일차생산	순생산량	일정기간에 생산된 순생산량	①	②	③	④	⑤	
물순환	유역변형면적	하천유역변형면적	①	②	③	④	⑤	
<의견 기재>								

4) 문화서비스에 대한 생태계 서비스 평가지표의 측정가능성

평가 항목	평가지표		측정용이성					
	지표	산출방법	어려움 쉬움					수정 (대체 삭제 등)
경관	인지된 경관의 다양성	인지된 경관형태의 수	①	②	③	④	⑤	
	내부 녹지환경의 연계성	대상지 내부 녹지체계간의 연결정도 (단절/보통/연결)	①	②	③	④	⑤	
	주변경관과의 연계성	경계지역 녹지와 연결된 길이	①	②	③	④	⑤	
레크리에이션과 태관광	보행공간	산책로 및 조깅코스(보행자전용도로) 길이	①	②	③	④	⑤	
	휴식공간	피크닉 광장(공원 및 광장) 면적	①	②	③	④	⑤	
문화유산	법정 보호종	법정보호종의 수 ※법정보호종=멸종위기야생동식물, 천연기념물, 보호수	①	②	③	④	⑤	
	법정 보호지역과의 거리	대상지에서 가장 가까운 법정보호지역의 거리 ※법정보호지역=생태·경관보전지역, 습지보호지역, 생태계변화관찰지역, 자연공원(국립·군립·도립공원), 야생동식물보호구역, 산림유전자원보호림, 백두대간보호지역, 국제기구·협약등록지역	①	②	③	④	⑤	
	특이 지질·지형	문화적, 예술적 보전가치 있는 지형·지질 및 특이지형 형상의 존재	①	②	③	④	⑤	
교육적 가치	교육 면적	교육가능면적 ※ 교육 가능 면적 = 어린이 공원, 생태학습, 자연학습원 등	①	②	③	④	⑤	

<의견 기재>

- 인터뷰에 참여하여 주셔서 감사합니다. -

[참고] 생태계서비스 평가지표(안)

종류	항목 (17개)	평가지표(안)			
		지표(40개)	산출방법	단위	특성
공급	식량	경작지 면적	경작지(텃밭)면적	m ²	면적
	용수	유역의 수	영향을 미치는 유역의 수	수	수
		유역면적	유역(집수역)에서 차지하는 면적	m ²	면적
		하천길이	하천의 변화 길이	km	면적
		우수 저류량	침사지+저류지 용량	m ³	양
	바이오매스	식물현존량	식물현존량	ton/m ²	양
	생물자원	자연성 변화	6등급이상 녹지자연도 면적	m ²	면적
		고유종 변화	고유종수/대상지내 전체생물종수	수	수
		종다양성 변화	생물의 종 다양도 지수	-	지수
		풍부도 변화	풍부도 지수	-	지수
		식물구계학적 특정식물 변화	식물구계학적 특정식물 분류군의 수	수	수
조절	대기정화조절	SO ₂ 흡수량	녹지면적×SO ₂ 흡수량원단위(8.3kg/ha/yr=0.83g/m ² /yr) * 서울시 도시녹지의 연간 흡수량원단위 적용	kg/yr	양
		NO ₂ 흡수량	녹지면적×NO ₂ 흡수량원단위(21.8kg/ha/yr=2.18g/m ² /yr)	kg/yr	양
	기후조절	바람생성 변화	기후통지도에 의한 찬공기 생성가능성 산정 * 토지이용형태에 따라 공간구분 - GIS 자료 이용	-	기타
		열쾌적성 변화	토지이용형태, 기상자료에 따른 열쾌적성지수	-	지수
		녹지면적(율)	녹지면적 *순수원형보전(묘지제외)+조성녹지+공원녹지(보행자도로 제외)	%	면적
	자연재난완화	급경사지 면적	급경사지면적	m ²	면적
		연약지반 면적	연약지반면적	m ²	면적
		지형변화면적	지형변화면적(대상지면적-원형보전면적)	m ²	면적
	가뭄조절	투수성 면적	투수성면적(비건축면적+투수성포장면적)	m ²	면적
		물 집적능	지형습윤지수(TWI)=ln(A/tanβ) * A는 집수면적, tanβ는 경사(라디안으로 표현)- GIS 자료 이용	-	지수
	자연정화조절	수변완충공간 면적	수변완충공간면적	m ²	면적
		비점오염저감능	자연형 비점오염저감시설 개소수	수	수
	침식조절	식생피복 면적	뿌리기반 식생피복면적	m ²	면적
		지형변동량	전체 토공량(작기량+쌓기량)	m ³	양
		토심	평균유효토심 - GIS 자료 이용	-	길이
지원	서식지 제공	생물서식 면적	생물서식 가능한 녹지면적* * 교목, 관목 초본이 상존하고 인간의 직접적 간섭이 없는 면적	m ²	면적
		생물서식공간 연결성	단절된 생물서식가능녹지의 수	수	수
		자연지형 보전면적	자연지형보전면적/기존자연지형면적	m ²	면적
	일차생산	순생산량	일정기간에 생산된 순생산량	ton/yr	양
	물순환	유역변형면적	하천유역 변형면적	m ²	면적
문화	경관	인지된 경관의 다양성	인지된 경관형태의 수	수	수
		내부 녹지환경의 연계성	대상지 내부 녹지체계간의 연결정도(단절/보통/연결)	상중하	기타
		주변경관과 연계성	경계지역 녹지와 연결된 길이	m	길이
	레크리에이션 과 생태관광	보행공간	산책로 및 조깅코스(보행자전용도로) 길이	m	길이
		휴식공간	피크닉 광장(공원 및 광장) 면적	m ²	면적
	문화유산	법정 보호종	법정보호종*의 수 *멸종위기 야생동식물, 천연기념물, 보호수	수	수
		법정 보호지역과의 거리	대상지에서 가장 가까운 법정보호지역*의 거리 *생태·경관보전지역, 습지보호지역, 생태계변화관찰지역, 자연공원(국립·군립·도립공원), 야생동식물보호구역, 산림유전자원보호림 백두대간보호지역 국제기구·협약등록지역	m	길이
		특이 지질·지형	문화적, 예술적 보전가치 있는 지형·지질 및 특이지형 형상 존재	유/무	기타
	교육적 가치	교육 면적	교육가능면적* * 어린이공원, 생태학습, 자연학습원 등	m ²	면적

부록 3. 생태계서비스 평가지표(안) 에 대한 전문가 의견

평가항목	평가지표	환경분야 자문의견	개발분야 자문의견
연구개요		<ul style="list-style-type: none"> ○ 연구범위를 명확히 하고, 평가항목의 의미와 이를 표현할 수 있는 지표를 선정 <ul style="list-style-type: none"> - 지표를 선정하게 된 이유를 기재 ○ 지표가 중복계산 우려. 독립성 전제 ○ 지표의 종합분석을 고려하여 산출값이 많고 큰 것이 좋은 점수를 받도록 구성 ○ 지표개발절차 <ul style="list-style-type: none"> - 평가항목선정 - 지표선정 - 지표의 산정(측정방법+점수화방법) - 대분류와 평가항목의 가중치(AHP) 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 평가범위는 사업대상지를 포함한 주변 유역을 고려. 사업단위 지표(대상지)와 생태계서비스 지표(유역)의 측정 방법과 평가를 고민 ○ 평가항목에 대한 용어정의를 구체화 하고 지표도 구체화. 항목별 지표수가 차이나는 부분 검토 <ul style="list-style-type: none"> - 지표수가 많다고 좋은 것이 아님. 핵심적 지표로 대표성을 갖고 더 중요한 것 선택 - 시기, 개발패턴에 따른 변화를 유연하게 받아들일 수 있을지 고려 - 지역(위치)에 따른 서비스의 차이 고려(도시숲 vs 농촌숲) ○ 지표간에 상호연관성을 고려, 도시계획 및 환경계획 수립에 사용한 데이터를 이용 ○ 지표의 AHP에는 균형적 가치판단을 위해 다양한 전문가 참여가 중요(공간계획과 환경계획 전문가, 국토부와 환경부, 엔지니어링사의 환경과 개발분야)
		<ul style="list-style-type: none"> ○ 지표가 타분야의 환경성 기준과 목표에 상충될 가능성이 높음(예: 농림지역의 중요도 구분, 임상도의 영경급 등 구분, 녹지자연도의 등급, 식생보전등급, 하천자연도 등이며, 평가지표마다 중요치가 가중될 필요가 있음)(엔지니어링1) 	
식량	경작지면적	①논과 밭은 제공요소가 달라 분리 평가(과학원1) ②뒷밭은 생산지역 확보된 경우만 적용(학계4) ③경작지 이외의 식량에 대해 고려(기타1) ④뒷밭보다 '농경지' 용어 수정. 뒷밭은 주로 야채(엽채류)생산에 국한되어 많이 사용(기타2)	①지자체에서 도시개발구역내 경작지조사를 하고 있으므로 지자체 자료 이용 가능 (예. 연천실험센터에서 경작지현황 파악 (임대료산출목적))(건기연A)
용수	유역의 수	①일반적으로 개발사업은 하나의 유역을 고려함(KEI3) ②용수 공급서비스와 직접적 관계없음(학계1) ③어디에서 어디를 볼 것인지(기타1)	①영향의 범위가 명확하지 않음(산지1) ②도시개발사업은 사업규모가 여러 유역에 영향을 미칠 정도로 크지 않음. 유역관련 다른 변수들이 보완 가능(국토연B)
	유역면적	①유역면적은 유역내 면적으로 수정(학계1)	
	하천길이	①하천길이 변화를 하천길이로 수정, 효용의 개념으로 보면 변화보다 현황 평	①면적과 길이의 상관관계가 밀접할 것으로 예상(산지1)

평가항목	평가지표	환경분야 자문의견	개발분야 자문의견
		가가 바람직(과학원1) ②용수 공급 서비스와 직접적 관계없음(학계1)	②freshwater의 공급서비스와 하천길이 변화와의 관계에 대한 관련성이 약하다고 여겨짐(개발로 인한 물공급서비스의 변화에 초점(엔지니어링A))
	우수저류량	①용수사용량(자체내 사용용수, 빗물사용량 고려)을 고려해야 함.(학계4) (예)농업용수, 관개용수, 가정용수, 공업용수 등	①유역면적과 상관관계 확인 필요(산지1) ②강우량, 농업용수량 등 추가 고려(기구B) ③상하수처리능력으로 하천유량 data 필요(연평균, 분기평균, 월평균). 특정 유량을 역산하여 총유수량 측정(국토부에서 하천유량관리, 유량조사하고 있음. 건기연유량조사사업단)(건기연A) ④freshwater의 공급서비스와 우수저류량과의 관계에 대한 관련성이 약하다고 여겨짐(엔지니어링A)
바이오매스	식물현존량변화	①입목축적으로 지표 추가 또는 조정 검토(KEI1) ②식물현존량변화는 목본과 초본 구분(KEI3) ③식물현존량변화는 삭제(학계3) ④생체량 산정방법은 국립산림과학원의 자료 이용(산림지역의 영급, 경급)(학계4) ⑤유기+무기폐자원 추가. 바이오매스가 생물뿐만 아니라 유기성 및 무기성폐자원을 모두 포함함. 재활용하거나 신재생에너지화하면 환경오염 제고, 온실가스의 급격한 감소로 공급측면에서 의미있음(기타2)	
생물자원	자연성	①대상지내 7등급이상 녹지자연도 면적으로 조성(KEI1, 엔지니어링2) ②녹지자연도를 다른 자료로 대체(KEI2) ③문화서비스로 항목 변경 고려(KEI4) ④녹지자연도는 더 이상 쓰지 않으므로 생태자연도로 대체(과학원1) ⑤녹지자연도를 생태자연도 또는 현존식생도의 식생등급으로 교체(학계1) ⑥생물자원이 있고 없고의 stock 개념이므로 하나의 지표로 통합 고려(학계4) ⑦대상지내의 7등급이상 식생보존등급 면적으로 수정(엔지니어링1) ⑧녹지자연도 6등급으로 정한 이유는?(기타1)	①녹지자연도 6등급이상 면적의 경우 등급별 가중한 면적을 사용하는 것이 바람직함 (6등급, 7등급, 8등급 등 같은 면적이라도 가치는 다름(국토연B))
	고유종	①외래종과 침입종도 추가로 고려(KEI3)	
	종다양성	①종조사의 불확실성과 그로 인한 종다양성 산정결과의 상호비교시 신뢰성이 낮아짐. 종조사의 경우 조사자에 따른 편차가 크게 발생하는 문제점이	

평가항목	평가지표	환경분야 자문의견	개발분야 자문의견
	풍부도	있음 (KEI5) ②풍부도의 정의는 무엇이며 어떻게 평가하는 것인지(학계3)	
	식물구계학적 특정식물	①특정식물의 분류군 수가 자연성, 종다양도, 풍부도등과 큰 상관성이 없음(엔지니어링1) ②법정보호종으로 수정(엔지니어링2)	
조절서비스			
대기 정화 조절	SO2 흡수량	①오염물질 흡수원단위에 대한 이견이 있을 수 있고, 단위에 대한 신뢰성이 높지 않음(KEI5) ②공식이 있다고 쉬운 것은 아님. 산출시에는 원자료를 계산하고 산출이 어려우며 특히 활용되는 계수는 외국자료를 그대로 쓰는 맹점(과학원2)	①SO2흡수량은 CO2흡수량으로 대체(산지B) ②SO2흡수량에서 녹지면적?(국토연A)
	NO2 흡수량		
	미세먼지 저감량	②분진억제기능 추가(수목의 잎, 줄기 등을 통한 미세먼지, 분진억제, 미세먼지는 대기오염의 직접적인 전달체임)(기타2)	②미세먼지 저감능 추가(PM10,PM2.5)(건기연A, 건기연B)
기후 조절	바람생성	①토지이용형태로만 평가하기 어려우므로 기후특성도 작성시 지형, 바람의 방향 등 종합적 고려(KEI1) ②미기후조절에서 바람길 분석(화이트네트워크)한 환경생태계획 자료 참조(학계4) ③바람생성대신 '기류특성조절'로 용어 대체(기타2)	①바람생성은 도시계획차원에서 시뮬레이션하는 방법이 있음. 바람길 만드는 것으로 건물배치시에 고려(건기연A) ②지표에 수공간면적 지표를 추가 검토 - 미기후조절에는 녹지도 중요하지만, 수공간에 의한 열섬효과 완화등도 중요함(국토연B)
	열쾌적성	①미기후조절부문은 열쾌적성과 바람생성부분에서 다루고 있기 때문에 녹지면적을 탄소흡수로 대체(과학원1)	
	녹지면적	①기후조절 효과를 고려하여 교목을 중심으로 한 녹지면적이 적합(KEI1) ②녹지면적은 중복, 간접적임(학계3) ③녹지면적중 원형보전 녹지의 질적 수준이 포함되었으면함(엔지니어링1) ④미기후조절부문은 열쾌적성과 바람생성부분에서 다루고 있기 때문에 녹지면적을 탄소흡수로 대체(과학원1) ①온실가스 조절기능 추가(학계4) ②대기정화, 기후조절 중에 CO2흡수량의 조절 기능 추가 필요(엔지니어링1) ③CO2흡수량 추가 - 단지개발사업에서 기후조절메커니즘이 충분히 설명될 수 있을지 미지수이며, 보다 넓은 지역 또는 도시차원에서 예측이 수행되어야 가능할 것으로 판단됨(엔지니어링1)	① 도시숲과 같은 산림?(국토연A)
자연 재난 완화	급경사지 면적	①자연재난완화 3개의 지표가 생태계조절서비스와 연계시키기 어려움 - 열대지역 맹그로브숲은 자연해일에	①식생의 존재여부 특히, 교목이나 관목 이상의 식생면적 확인 필요(산지A)

평가항목	평가지표	환경분야 자문의견	개발분야 자문의견
		<p>대해 해안생태계와 인간활동을 보호해주는 서비스기능 있음(KEI6)</p> <p>* 해안방풍림, 산림의 다양성, 피복 등을 지표에 포함 고려: 자연재해인 태풍, 산사태, 산불피해, 가뭄 등은 저감 또는 조절하는 기능 가짐</p> <p>②급경사지 면적이 왜 20도인지 기준이 불명확(학계1, 기타1)</p> <p>③지표들이 산사태 자연재난 발생가능성을 나타내고 있음. 홍수항목도 추가(학계1)</p> <p>④개발사업에서 생태계로 재해를 방지하는 내용으로만 한정. 침식조절과 통합검토(학계4)</p>	<p>②경사지 피복상태에 따라 경사의 위험도가 달라지며 경사도의 기준(20도)은 없음.</p> <p>- 급경사지20도는 개발된 지역, 피복된 지역, 사방공사지역에 따라 위험도 차이가 남.</p> <p>- 국토부의 사면관리시스템, 산림청 산사태위험지도를 중첩하여 이용하는 것이 바람직(건기연A)</p> <p>③자연재난완화에서 급경사지 면적과 연약지반면적과의 관련성에 대해 고민이 필요(엔지니어링A)</p>
	연약지반 면적	<p>①생태계조절서비스와 연계시키기 어려움(KEI6)</p> <p>②연약지반(경작지, 습지 등)은 재난측면에서 대표성여부를 판단할 수 있을지 모르나 환경적 측면에서 긍정적, 부정적 영향을 평가하기 어려움(엔지니어링1)</p>	<p>①데이터 구동이 용이한지 확인 필요(산지A)</p> <p>②연약지반면적보다는 산사태위험지역 면적으로 대체하는 것이 필요</p> <p>- 연약지반은 주로 해안이나 매립지에만 해당하므로, 산사태위험지역면적은 산림청 또는 산림과학원 자료 이용 가능(국토연B)</p> <p>③연약지반은 국토부 지반정보시스템에서 각 시추정보에 대해 DB저장하고 있어 연약구간 산출 가능. 도로에서 연약구간 DB가 있고, 광해방지사업단에서 광산채굴위험지역 GIS DB 구축(건기연A)</p>
	지형변화 면적	<p>①생태계 조절서비스와 연계시키기 어려움(KEI6)</p> <p>②토공량의 많고 적음이 침식조절과는 연관성을규명하기 어려우며, 토지의 질과 피복에 의미를 두어야함(엔지니어링1)</p>	<p>①도시계획시에 고려하며, 비점오염구간에서 자연정화조절을 위한 필요면적임(건기연A)</p>
가뭄 조절	투수성 면적	<p>①토압으로 인하여 불투수층화되거나 될 가능성이 높음. 투수성에 대한 의견이 높음(KEI5)</p> <p>②가뭄조절과 물순환의 통합 고려. 생태면적률로 대체도 가능할 것임(학계4)</p> <p>③퍼센트 비율을 말하는지 각 공간마다 투수정도가 달라짐(기타1)</p>	
	물 집적능	<p>①유역의 생물다양성, 종풍부도, 피복면적 등에 의해 영향을 크게 받으므로 이들 요소의 지표 포함 고려(KEI6)</p> <p>②투수성 면적과 물 집적능을 선택한 차이는? 토양은 불포함인지?(기타1)</p>	
자연정화 조절	수변완충 공간면적	<p>①수질정화로 본다고 가정하면, 수변에서 자연 edge면적이 길어야 식생층이 조성됨.</p> <p>- 물환경에서 차수막없이 자연상태로 있는 하상을 말하고 현황분석도 필요</p>	

평가항목	평가지표	환경분야 자문의견	개발분야 자문의견
		요(학계4) ②어디에서 어디를 볼 것인지(기타1) ③수변완충공간면적 이외에 토양의 질 추가(기타2)	
	비점오염저감능	①자연정화조절에서 비점오염저감능은 지표로써 적합한 것으로 보이지 않음 (KEI6)	
침식조절	식생피복면적	①녹지가 침식조절 기능이 있으므로 녹지면적으로 수정(초본류는 포토 잡음)(KEI 4) ②식생피복은 기후조절, 재난완화, 산사태 방지, 홍수피해 등 여러 기능에 중복적으로 관련됨(학계3) ③침식조절에 영향을 주는 것은 산림, 녹지, 뿌리, 생태계기작다이어그램이 변하여 자연지반면적의 변화가 있음 - 식생피복+유효토심+식생층 다양 등이 함께 작용(학계4)	①식생피복면적은 자연재난완화와 밀접한 관계가 있다고 생각됨(산지A) ②나대지이외 대부분 뿌리기반식생을 가지고 있음. 토지피복도(토지이용현황도)에서 식생면적 구할 수 있음(건기연A) ③뿌리기반 식생피복면적은 하층구조 고려?(국토연A)
	지형변동량	①적정지표로 보이지 않음(KEI6) ②경사에 대한 고려가 더 중요할 듯(기타1)	①토공량이 발생하든 특정 지구단위 개발은 평평하게 만드는 것이므로 관련성이 낮음(건기연A)
	토심	①적정지표로 보이지 않음(KEI6) ②경사에 대한 고려가 더 중요할 듯(기타1) ③토심은 식생피복면적과 통합. 토심 대신 '토양입단화정도'로 대체(기타2)	
지원서비스			
서식지제공	생물서식면적	①습지 포함(KEI1) ②수생태계 생물서식도 고려(예, 하천, 습지 등)(학계1) ③서식처의 규모와 면적이 중요한 요소임(인간의 간섭이 없는 면적을 간섭이 적은 면적으로 수정)(엔지니어링1) ④조절서비스의 기후조절에서 언급하는 녹지면적과 지원서비스의 서식지제공면적이 큰 차이가 없음. 구분 및 기능을 달리 고려(엔지니어링1) ⑤파악가능한 면적 수치인지(기타1)	
	생물서식공간의 연결성	①소스와 싱크의 구조적 연결성(수식으로 계산 가능) 부분도 추가(KEI3) ②단절보다 연결개념으로 설명되는 것이 좋음 (과학원1) ③연결성정도를 파악할 수 있는 정량적, 계량적 방법이 요구됨(단절된 생물서식가능녹지의 수에서 녹지의 수는 가능)(엔지니어링1)	①절대 지표의 사용은 대상지의 면적에 따라 상당한 변이가 예상됨. 따라서 1ha당 또는 그 외의 기준을 사용하여 밀도 또는 차지하는 비율로 하는 지표로의 변화가 필요할 것으로 생각(산지A) ②단절녹지의수=연결성?(국토연A) ③생물서식공간의 연결성지표는 '생물서식가능녹지의수'보다는 연결성지수를 활용하는 것이 맞음(다양한 연결성 지수 중에서 선택하면 좋을 듯)(국토연B)

평가항목	평가지표	환경분야 자문의견	개발분야 자문의견
	자연지형보전면적	①자연지형보전이 서식지 보호에 유익하다는 논리는 비약(과학원1) ②생물서식면적과 중복되는 경향이 있음(학계1) ③생물서식면적과 중복될 듯(기타1) ④자연지형보전은 '훼손'의 반대(기타2)	①투수가능면적과 중복(국토연A)
일차생산	순생산량	①산정근거가 미약(KEI5) ②일차생산에 대한 정의 제공(KEI6) ③일차생산의 순생산량은 공급이 아닌지?(학계3) ④순생산량은 검토 필요. 일차생산과 생물량을 전체적으로 다룰 필요가 있음(일차생산량+생물량). - 생산량은 자연림/이차림보다 식재림이 높음을 볼 수 있어 순생산량의 감소폭이 큰 것하고 자연성은 서로 다른 경향을 보임(엔지니어링1)	①일정기간의 범위 명시(산지A)
물순환	유역변형면적	①지표는 유입량 대비 유출량의 평가가 필요, 불투수율도 하나의 지표로 포함 검토(KEI1) ②빗물재활용등 재이용, 재활용 부분 포함(KEI3) ③지원서비스 포함은 적정해 보이지 않음(KEI6) - 물순환에 의한 가뭄조절, 오염물질 제거, 또는 기후변화조절 등을 고려한다면 조절서비스에 해당 ④자연하천길이로 대체(대상지내 자연하천의 길이)(과학원1) ⑤유역변형면적 지표는 단순한 변형이 아니라 변형의 양태가 나타날 수 있어야 함(예, 물순환에 도움 주는 방향)(학계1) ⑥물순환을 대표하는 지표인지, 알베도 등의 수치가 더 중요한 것이 아닌지(기타1) ⑦우수침투(1단계)+토양내 수분이동(2단계)(기타2)	①생태계의 중요한 기능 중의 하나이나 인간에게 어떤 혜택 또는 서비스를 제공하는 지 명확하지 않음. - 변형은 인간에 의한 훼손을 의미하는 것인지 아니면 자연적인 변형도 포함하는 지 개념정립에 대한 설명 필요(산지A) ②연도별, 월별 하천유량 변화 추이, 강수량대비 유량변화추이로 대체. - 면적으로 물순환을 측정하는 것은 개발로 인한 물길 이외의 의미는 없음(건기연A)
	문화서비스	①문화서비스를 전체적으로 보완하되 사람이 쓰는 공간과 인식하는 공간으로 구분 가능. 개발에 따른 자연의 현명한 이용 관점에서 접근하면 크게 3가지 항목으로 구분 가능(학계3) - 레크리에이션(이용하는 공간): 공원수(자연공원 포함), 공원녹지면적(오픈스페이스) - 지역고유의 자연 경관(인식하는 공간) : 보호지역 면적, 특이지질.지형 * 보호지역은 제도/계획에서 지자체의 자체 보호지역으로 개발지로 전환가능한 지역을 말함(예: 그린벨트, 도시자연구	

평가항목	평가지표	환경분야 자문의견	개발분야 자문의견
		역, 농업진흥지역) - 교육적 가치: 교육면적, 자연체험 학습 접근성(학교, 주거지 중심에서 녹지로의 이동거리) ②문화서비스는 정성적인 내용들을 논리적으로 표현해야 함(학계4) ③문화서비스는 앞의 공급, 조절서비스의 완성도에 따라 상위서비스에 포함되어야 할 것임(엔지니어링1)	
경관	인지된 경관의 다양성	①시각적 경관이외 토지피복에 따른 경관 고려 (농경지경관, 하천경관)(KEI3) ②경관을 평가지표로 사용하는 것은 상당한 논란을 가져올 수 있음(KEI5) ③경관의 세가지 지표가 생태계서비스와 연계가 어려움. 경관을 평가하기 위한 다른 세부지표를 고민해보는 것이 좋겠음(KEI6) ④대상지내 인지된 경관형태의 수가 많다고 좋은 것은 아님(학계1) ⑤인지된 경관의 다양성은 검토가 필요함. 경관의 형태, 수가 많은 것은 다양한 경관이 연출되어 생물서식공간측면에서 불리한 요소임. 단순한 경관(식생)이 보다 큰 서식처를 유지할 가능성이 큼(엔지니어링1) ⑥경관은 다분히 주관적이어서 그의 다양성, 연계성과 형태의 수를 파악하기가 어려움. 따라서 이의 계량화에 대한 방법이 요구됨(엔지니어링1) ⑦보는 경관이 시각적 경관인지, 경관생태학적 경관인지 모호하므로 구분이 필요(기타1) ⑧인지된 경관이 어떤 경관인지 제한이 필요(패치의 수인지, 생태계인지)(기타1) ⑨경관은 주관적으로 조사가 어려움(KEI5) ⑩스케일에 대한 고려가 필요, 어떤 규모에서 인지할 것인지(기타1)	①인지된 경관에 대한 정의 필요(산지A) ②개발후의 경관 위주로 보임. 개발이전의 경관에 대한 고려는? 자연경관, 농업경관 등으로 용어 수정(기구B) ③인지된 경관의 다양성에서 다양성=경관형태?(국토연A) ④경관이 카테고리화되어 있지 않은 상태에서 숫자는 의미가 없음. 어떤 것을 경관이라 할 것인지. 경관의 종류별 요소는 어떠한지에 대해 먼저 결정되어야 함(건기연A)
	내부녹지 환경의 연계성	①문화서비스가 아닌 생물다양성측면에서 접근 필요(KEI5)	
	주변경관과 연계성	②다른 지표 고민(KEI6) ③연결정도의 기준을 명확히(KEI1)	
레크리에이션과 생태관광	보행공간	①다른 지표 고민(KEI6) ②측정범위 모호, 많은 시간과 노력이 소요, 다른 지표로 수정(KEI1) ①레크리에이션과 생태관광이 문화서비스로 인정되나 보행공간과 휴식공간이 평가지표로 연결되기 어려움. 다른 지표 고민(KEI6)	①포장안된 도로 또는 인간에 의해 조성 또는 시설물이 최소화된 공원이나 산책길에 대해서 측정하는 것이 생태계 서비스 평가에 바람직(산지A) ①휴식공간의 피크닉광장은 용어 교체(건기연A)
	휴식공간		

평가항목	평가지표	환경분야 자문의견	개발분야 자문의견
		②생태관광은 접근가능성, 레크리에이션, 생물자원을 이용하는 기회가 조건임(학계4) ③보행공간 대신 '생태계체험, 관찰대'로 대체(엔지니어링2) ④평가항목의 제목에 비해 보고자 하는 지표는 너무 디테일하고 좁은 범위를 나타내는 지표인 듯함(기타1) ⑤길이보다 면적이 나옴(기타1) ⑥레크리에이션: 녹지와 인접성, 연결성 추가. 사람이 생태계에 도달하는 방법, 거리(인접성, 연결성)에 대한 지표가 있었으면 함(기타2)	
문화유산	법정보호종	①자연문화유산으로 수정(KEI1), 문화유산은 자연환경자산으로 용어 수정(엔지니어링1) ②녹지공원면적으로 대체(KEI2) ③조사자에 따라 차이가 큼(KEI5) ④다른 지표 고민(KEI6)	①문화유산을 생태유산으로 용어 수정(기구B) ②생태계서비스는 보호대상만 중요한 것으로 보는 관점이어서는 안됨(국토연A) ③문화유산: 00거리라고 하면 끝에서 끝, 중앙 대 중앙 or 최단거리 or 평균거리, 지형상거리(서로 단절되면), 도로상 거리, 단순직선거리, 이동거리 등 기준 필요(건기연A)
	법정보호지역과의 거리	⑤평가항목의 제목에 비해 보고자하는 지표는 너무 디테일하고 좁은 범위를 나타내는 지표인 듯함(기타1) ⑥면적보다 개소수가 나옴, 생태관광의 범주는 아닌듯(기타1) ⑦천연기념물에 한정된 것인지, 최소 500m 이격후단지개발이 가능함. 당산목, 법정보호종의 서식지로 대체 고려(기타1)	
	특이지질지형	⑧법정보호종의 출현수에서 조류의 경우 서식지의 수가 필요, 출현종수만으로 평가지표 선정시 대상지의 중요치가 상반될 수있음(비행하는 조류의 출현, 발견만으로 숫자의 크기를 나타내는것은무리가 있으며, 서식지측면에서 별도의 해석이 있었으면 함)(엔지니어링1) ⑨법정보호지역으로 수정(엔지니어링2)	
교육적가치	교육면적	① 조사자에 따라 차이가 큼(KEI5)	

부록 4. 생태계서비스 평가지표의 상대적 중요도 평가 설문지(1차)

도시개발사업에 따른 생태계서비스 평가지표의 상대적 중요도 평가를 위한 설문지

안녕하십니까?

바쁘신 중에도 설문조사에 응해 주셔서 진심으로 감사드립니다.

본 설문지는 도시개발사업의 계획단계에서 적용할 수 있는 생태계서비스 평가모형을 도출하기 위한 것으로 본인의 박사학위 논문의 자료로 활용하기 위하여 작성된 것입니다.

본 설문은 ‘보금자리주택단지개발사업’을 대상사업으로 하여 개발사업 전과 후의 생태계서비스의 상태변화를 평가할 수 있는 지표를 다루고 있습니다. 생태계서비스의 세부서비스인 공급서비스, 조절서비스, 지원서비스 그리고 문화서비스의 각 평가지표별 중요도를 판별하고 가중치를 산정하기 위하여 귀하의 의견을 수렴하고자 합니다.

귀하께서 답변하여 주신 자료는 연구에 소중하게 활용될 것이며 설문과 관련하여 궁금하신 사항은 아래 연락처로 문의해 주시기 바랍니다.
감사합니다.

2013년 2월 20일

서울대학교 환경대학원 협동과정조경학과 박사과정 구미현
지도교수 : 이동근

연락처: 02-880-4885, koomeehyun@naver.com

< 작 성 요 령 >

본 설문은 도시개발사업(보금자리주택단지 개발사업)의 개발 전과 후의 생태계서비스의 변화를 평가하고자 생태계서비스 평가지표의 상대적 가중치를 규명하기 위한 것입니다.

본 설문에 활용할 방법은 계층화 의사결정방법(AHP: Analytic Hierarchy Process)으로, 평가에서 고려되는 항목간 상대적 중요도를 판단하는 집단 의사결정기법입니다. 아래 설문작성방법을 참고하시어 설문문항에 응답해 주시기 바랍니다.

생태계서비스 평가지표는 뒷부분에 표로 정리하여 수록하였습니다.

■ 설문방식은 두 지표를 1:1로 비교하여 아래 표의 중요도 척도를 참고하여 상대적 중요도에 따라 ‘○’를 표시하시면 됩니다.

중요도	정 의	설 명
1	동등	A와 B의 중요도가 같다(Equal importance)
3	조금 중요함	A가 B보다 약간 더 중요하다(Moderate importance)
5	중요함	A가 B보다 중요하다(Strong importance)
7	매우 중요함	A가 B보다 매우 중요하다(Very strong importance)
9	절대 중요함	A가 B보다 절대적으로 중요하다(Extreme importance)
2, 4, 6, 8		위 중요도의 중간 값

○ 예를 들어 농산물생산량이 침투량에 비해 중요하다고 생각하시면 농산물생산량 방향의 5에 “○” 표시를 하시고, 침투량이 농산물생산량보다 조금 더 중요하다고 생각하시면 침투량 방향의 3에 “○” 표시를 하시면 됩니다.

(예1) 농산물생산량이 침투량에 비해 중요함

A	절대 중요	매우 중요	중요	약간 중요	같음	약간 중요	중요	매우 중요	절대 중요	B
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
농산물생산량					○					침투량

(예2) 침투량이 농산물생산량에 비해 조금 더 중요함

A	절대 중요	매우 중요	중요	약간 중요	같음	약간 중요	중요	매우 중요	절대 중요	B
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
농산물생산량							○			침투량

<참고> 생태계서비스 평가지표

구분	평가항목	평가지표	평가목적	평가내용
공급 서비스	식량	농산물생산량	생태계가 인간에게 제공하는 식량의 양	대상지내 연간 농산물 생산량
	용수	침투량	생태계가 제공하는 깨끗한 물의 공급량	대상지내 강수량에서 유출량을 뺀 침투량
	바이오매스	식물현존량	생태계가 제공하는 목재, 연료 등 사용가능한 양	대상지내에 존재하는 식물현존량
	생물자원	생태1·2등급권역	생태자원의 가치와 활용가능성이 높은 지역의 면적	대상지내 생태자연도 등급별 가중면적
조절 서비스	대기정화 조절	대기오염물질 흡수량	대기오염물질을 흡수하는 생태계의 기능	식생에 의한 대기오염물질인 NO ₂ , SO ₂ , PM ₁₀ 의 흡수총량
	기후조절	수·녹지면적	도시열섬과 같은 미기후를 조절하는 생태계의 기능	대상지내 수공간과 녹지면적의 총합
		이산화탄소 저장량	기후변화를 야기하는 대표적 온실가스인 이산화탄소를 저장하는 생태계의 기능	대상지내 식생에 의한 이산화탄소저장량과 토양에 의한 이산화탄소저장량
	자연재난 완화	식생면적 (활엽수·혼효림)	흡수 또는 산사태 등 자연재해를 완화하는 생태계의 기능	대상지내 활엽수와 혼효림면적
	가뭄조절	투수성지반면적	토양이 수분을 보유함으로써 물을 흡수하고 배출하는 생태계의 역할	대상지내 토지이용유형별 면적에 면적산정계수를 가중
	자연정화 조절	수질오염정화능	자연의 힘으로 오수 등을 정화하는 수질정화능	대상지면적에 대한 하천과 습지면적비율에 자연형저감시설의 효율을 가중하여 평가
	침식조절	완경사지 피복면적	토양의 침식 또는 유실을 조절하는 생태계의 기능	경사도가 낮고(10도 미만) 피복되어 있는 토양면적에 토양유실률을 가중하여 평가
지원 서비스	서식지 제공	서식규모의 안정성	서식지 크기가 클수록 다양한 개체가 서식하여 생물의 생존에 유리	대상지내 서식지 패치의 평균면적
		서식공간의 이질성	대상지내 특성이 다른 서식공간의 인접한 정도	서식공간이 분포하는 기준격자에서 주변 8개 격자의 서식지 특성이 다른 정도를 평가
		지형보전·복구 면적	서식지 질에 대한 간접적 추정 방식	대상지내 원형보전면적과 훼손지 복구면적의 합
문화 서비스	경관	경관미	인간의 시선을 통해 보이는 자연경관의 변화정도	대상지 중경사진에서 본래 자연지형과 수계의 변화정도, 가시공간 중 자연공간의 면적비율
	레크리에이션	레크리에이션 활동공간면적	성인이 일상영역내에서 활동할 수 있는 레크리에이션 활동공간	대상지내 대지경계에서 일정거리이내에 있는 레크리에이션 활동공간면적
		분산도	레크리에이션 활동공간의 분포	레크리에이션 활동공간의 규모와 분포를 고려한 활동공간(패치)의 분산도
		다양성	레크리에이션 규모와 형태의 다양한 정도	대상지내 레크리에이션 활동공간의 규모의 다양한 정도로 활동공간의 표준편차로 평가
	교육	근접성	교육시설과 가까이 있는 교육공간 면적	대상지내 교육시설 경계를 기준으로 일정거리이내에 있는 교육공간의 면적
		잠재성	다양한 특성을 가진 교육공간의 존재	대상지내 다양하고 풍부한 자연환경을 접할 수 있도록 특성이 다른 교육공간의 종류(개수)

1. 생태계서비스 평가지표에 대한 상대적 중요도

1) 공급서비스 평가지표입니다. 각각 제시된 두 가지 지표를 비교하였을 때 상대적으로 더 중요하다고 생각되는 한 곳을 선택하여 표기하여 주시기 바랍니다.

A	절대 중요		매우 중요		중요		약간 중요		같음		약간 중요		중요		매우 중요	절대 중요	B
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	
농산물생산량																	침투량
농산물생산량																	식물현존량
농산물생산량																	생태1·2등급권역
침투량																	식물현존량
침투량																	생태1·2등급권역
식물현존량																	생태1·2등급권역

2) 조절서비스 평가지표입니다. 각각 제시된 두 가지 지표를 비교하였을 때 상대적으로 더 중요하다고 생각되는 한 곳을 선택하여 표기하여 주시기 바랍니다.

A	절대 중요		매우 중요		중요		약간 중요		같음		약간 중요		중요		매우 중요	절대 중요	B
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	
대기오염물질흡수량																	수·녹지면적
대기오염물질흡수량																	이산화탄소저장량
대기오염물질흡수량																	활엽수·혼효림면적
대기오염물질흡수량																	투수성지반면적
대기오염물질흡수량																	수질오염정화능
대기오염물질흡수량																	완경사지피복면적
수·녹지면적																	이산화탄소저장량
수·녹지면적																	활엽수·혼효림면적
수·녹지면적																	투수성지반면적
수·녹지면적																	수질오염정화능
수·녹지면적																	완경사지피복면적
이산화탄소저장량																	활엽수·혼효림면적
이산화탄소저장량																	투수성지반면적
이산화탄소저장량																	수질오염정화능
이산화탄소저장량																	완경사지피복면적
활엽수·혼효림면적																	투수성지반면적
활엽수·혼효림면적																	수질오염정화능
활엽수·혼효림면적																	완경사지피복면적
투수성지반면적																	수질오염정화능
투수성지반면적																	완경사지피복면적
수질오염정화능																	완경사지피복면적

3) 지원서비스 평가지표입니다. 각각 제시된 두 가지 지표를 비교하였을 때 상대적으로 더 중요하다고 생각되는 한 곳을 선택하여 표기하여 주시기 바랍니다.

A	절대 중요		매우 중요		중요		약간 중요		같은		약간 중요		중요		매우 중요		절대 중요		B
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
서식규모의 안정성																			서식공간의 이질성
서식규모의 안정성																			지형보전·복구면적
서식공간의 이질성																			지형보전·복구면적

4) 문화서비스 평가지표입니다. 각각 제시된 두 가지 지표를 비교하였을 때 상대적으로 더 중요하다고 생각되는 한 곳을 선택하여 표기하여 주시기 바랍니다.

A	절대 중요		매우 중요		중요		약간 중요				같은		약간 중요		중요		매우 중요		절대 중요	B
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
경관미																				레크리에이션 활동공간면적
경관미																				분산도
경관미																				다양성
경관미																				근접성
경관미																				잠재성
레크리에이션 활동공간면적																				분산도
레크리에이션 활동공간면적																				다양성
레크리에이션 활동공간면적																				근접성
레크리에이션 활동공간면적																				잠재성
분산도																				다양성
분산도																				근접성
분산도																				잠재성
다양성																				근접성
다양성																				잠재성
근접성																				잠재성

2. 생태계서비스에 대한 상대적 중요도

- 생태계서비스는 공급, 조절, 지원, 문화서비스로 구분됩니다. 두 가지 서비스를 비교하였을 때 상대적으로 더 중요하다고 생각되는 한 곳을 선택하여 표기하여 주시기 바랍니다.

A	절대 중요		매우 중요		중요		약간 중요		같음		약간 중요		중요		매우 중요		절대 중요	B
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
공급서비스																		조절서비스
공급서비스																		지원서비스
공급서비스																		문화서비스
조절서비스																		지원서비스
조절서비스																		문화서비스
지원서비스																		문화서비스

※ 일반사항에 관한 질문입니다.

1. 귀하의 전공분야는 무엇입니까?

- ① 조경관련 분야 ② 환경관련 분야 ③ 생태관련 분야
④ 건설관련 분야 ⑤ 도시관련 분야 ⑥ 기타()

2. 귀하의 전문분야 경력은 어느 정도 되십니까?

- ① 5년 미만 ② 5년~10년 ③ 11~15년 ④ 16~20년 ⑤ 21년 이상

3. 귀하가 종사하시는 기관은 무엇입니까?

- ① 정부 ② 연구소 ③ 교육기관(대학) ④ 민간기업 ⑤ 기타()

- 설문에 응해주셔서 매우 감사합니다. -

부록 5. 생태계서비스 평가지표의 상대적 중요도 평가 설문지(2차)

도시개발사업에 따른 생태계서비스 평가지표의 상대적 중요도 평가를 위한 설문지 <2차 조사>

안녕하십니까?

바쁘신 중에도 설문조사에 참여하여 주셔서 감사드립니다.

본 연구는 도시개발사업의 계획단계에서 적용할 수 있는 생태계서비스 평가모형을 도출하기 위하여 ‘보금자리주택단지개발사업’을 대상사업으로 개발사업 전과 후의 생태계서비스의 상태변화를 평가할 수 있는 지표를 다루고 있습니다.

본 설문은 생태계서비스의 유형과 각 서비스별 평가지표에 대한 1차 AHP 전문가 설문에서 얻어진 상대적 중요도의 검증을 위해 2차 설문을 하려고 합니다. 응답해주신 전문가 여러분들의 의견을 종합적으로 제시하기 위해 1차 전문가 설문(AHP) 결과의 가중치를 제시하였습니다. 이를 참고하시어 생태계서비스의 유형별 중요도와 공급서비스, 조절서비스, 지원서비스 그리고 문화서비스의 각 평가지표별 중요도에 대하여 재평가를 부탁드립니다.

귀하께서 답변하여 주신 자료는 연구에 소중하게 활용될 것이며 설문과 관련하여 궁금하신 사항은 아래 연락처로 문의해 주시기 바랍니다.
감사합니다.

2013년 3월 5일

서울대학교 환경대학원 협동과정조경학과 박사과정 구미현
지도교수 : 이동근

연락처: 02-880-4885, koomeehyun@naver.com

< 작 성 요 령 >

본 설문은 도시개발사업(보금자리주택단지 개발사업)의 개발 전과 후의 생태계서비스의 변화를 평가하고자 생태계서비스 평가지표의 상대적 가중치를 규명하기 위한 것입니다.

본 설문에 활용할 방법은 계층화 의사결정방법(AHP: Analytic Hierarchy Process)으로, 평가에서 고려되는 항목간 상대적 중요도를 판단하는 집단 의사결정기법입니다. 아래 설문작성방법과 1차 결과를 참고하시어 설문문항에 응답해 주시기 바랍니다.

■ 설문방식은 두 지표를 1:1로 비교하여 아래 표의 중요도 척도를 참고하여 상대적 중요도에 따라 ‘○’를 표시하시면 됩니다.

중요도	정 의	설 명
1	동등	A와 B의 중요도가 같다(Equal importance)
3	조금 중요함	A가 B보다 약간 더 중요하다(Moderate importance)
5	중요함	A가 B보다 중요하다(Strong importance)
7	매우 중요함	A가 B보다 매우 중요하다(Very strong importance)
9	절대 중요함	A가 B보다 절대적으로 중요하다(Extreme importance)
2, 4, 6, 8		위 중요도의 중간 값

○ 예를 들어 농산물생산량이 침투량에 비해 중요하다고 생각하시면 농산물생산량 방향의 5에 “○” 표시를 하시고, 침투량이 농산물생산량보다 조금 더 중요하다고 생각하시면 침투량 방향의 3에 “○” 표시를 하시면 됩니다.

(예1) 농산물생산량이 침투량에 비해 중요함

A	절대 중요	매우 중요		중요		약간 중요		같음		약간 중요		중요		매우 중요		절대 중요	B
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	
농산물생산량					○												침투량

(예2) 침투량이 농산물생산량에 비해 조금 더 중요함

A	절대 중요	매우 중요		중요		약간 중요		같음		약간 중요		중요		매우 중요		절대 중요	B
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	
농산물생산량											○						침투량

1. 생태계서비스 평가지표에 대한 상대적 중요도

1) 공급서비스 평가지표입니다.

평가항목	평가지표	1차 전문가 설문(AHP) 결과	평가목적
식량	농산물생산량	0.238	생태계가 인간에게 제공하는 식량의 양
용수	침투량	0.136	생태계가 제공하는 물의 공급량
바이오매스	식물현존량	0.203	생태계가 제공하는 목재, 연료 등 사용가능한 양
생물자원	생태1·2등급 권역	0.424	생태자원의 가치와 활용가능성이 높은 지역 면적

○ 위의 설문결과를 참고하여 아래 제시된 두 가지 지표를 비교하였을 때 상대적
으로 더 중요하다고 생각되는 한 곳을 선택하여 표기하여 주시기 바랍니다.

A	절대 중요		매우 중요		중요		약간 중요		같은		약간 중요		중요		매우 중요		절대 중요	B
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
농산물생산량																		침투량
농산물생산량																		식물현존량
농산물생산량																		생태1·2등급권역
침투량																		식물현존량
침투량																		생태1·2등급권역
식물현존량																		생태1·2등급권역

2) 조절서비스 평가지표입니다.

평가항목	평가지표	1차 전문가 설문(ATP) 결과	평가목적
대기정화 조절	대기오염물질 흡수량	0.132	대기오염물질을 흡수하는 생태계의 기능 평가
기후조절	수·녹지면적	0.139	도시열섬과 같은 미기후를 조절하는 생태계의 기능평가
	이산화탄소 저장량	0.202	기후변화를 야기하는 대표적 온실가스인 이산화 탄소를 저장하는 생태계의 기능 평가
자연재난 완화	식생면적 (활엽수·혼효림)	0.175	흡수 또는 산사태 등 자연재해를 완화하는 생태 계의 기능
가뭄조절	투수성지반면적	0.122	토양이 수분을 보유함으로써 물을 흡수하고 배 출하는 생태계의 역할 평가
자연정화 조절	수질오염정화능	0.126	자연의 힘으로 오수 등을 정화하는 수질정화능 평가
침식조절	완경사지 피복면적	0.104	토양의 침식 또는 유실을 조절하는 생태계의 기 능 평가

- 위의 설문결과를 참고하여 아래 제시된 두 가지 지표를 비교하였을 때 상대적
으로 더 중요하다고 생각되는 한 곳을 선택하여 표기하여 주시기 바랍니다.

A	절대 중요	매우 중요		중요		약간 중요		같은		약간 중요		중요		매우 중요		절대 중요	B
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	
대기오염물질흡수량																	수·녹지면적
대기오염물질흡수량																	이산화탄소저장량
대기오염물질흡수량																	활엽수·혼효림면적
대기오염물질흡수량																	투수성지반면적
대기오염물질흡수량																	수질오염정화능
대기오염물질흡수량																	완경사지피복면적
수·녹지면적																	이산화탄소저장량
수·녹지면적																	활엽수·혼효림면적
수·녹지면적																	투수성지반면적
수·녹지면적																	수질오염정화능
수·녹지면적																	완경사지피복면적
이산화탄소저장량																	활엽수·혼효림면적
이산화탄소저장량																	투수성지반면적
이산화탄소저장량																	수질오염정화능
이산화탄소저장량																	완경사지피복면적
활엽수·혼효림면적																	투수성지반면적
활엽수·혼효림면적																	수질오염정화능
활엽수·혼효림면적																	완경사지피복면적
투수성지반면적																	수질오염정화능
투수성지반면적																	완경사지피복면적
수질오염정화능																	완경사지피복면적

3) 문화서비스 평가지표입니다.

평가항목	평가지표	1차 전문가 설문(AHP) 결과	평가목적
경관	경관미	0.218	인간의 시선을 통해 보이는 자연경관의 변화정도
레크리에이션	레크리에이션 활동공간면적	0.158	성인이 일상영역 내에서 활동할 수 있는 레크리에이션 활동공간의 크기
	분산도	0.138	레크리에이션 활동공간의 분포, 분산정도
	다양성	0.145	레크리에이션 규모와 형태의 다양한 정도
교육	근접성	0.208	교육시설과 가까이에 있는 교육공간 면적
	잠재성	0.134	다양한 특성을 가진 교육공간의 존재

○ 위의 설문결과를 참고하여 아래 제시된 두 가지 지표를 비교하였을 때 상대적으로 더 중요하다고 생각되는 한 곳을 선택하여 표기하여 주시기 바랍니다.

A	절대 중요		매우 중요		중요		약간 중요		같은		약간 중요		중요		매우 중요		절대 중요	B
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
경관미																		레크리에이션 활동공간면적
경관미																		분산도
경관미																		다양성
경관미																		근접성
경관미																		잠재성
레크리에이션 활동공간면적																		분산도
레크리에이션 활동공간면적																		다양성
레크리에이션 활동공간면적																		근접성
레크리에이션 활동공간면적																		잠재성
분산도																		다양성
분산도																		근접성
분산도																		잠재성
다양성																		근접성
다양성																		잠재성
근접성																		잠재성

4) 지원서비스 평가지표입니다.

평가항목	평가지표	1차 전문가 설문(AHP) 결과	평가목적
서식지 제공	서식규모의 안정성	0.238	서식지 크기가 클수록 다양한 개체가 서식하여 생물 생존에 유리
	서식공간의 이질성	0.136	대상지내 특성이 다른 서식공간의 인접한 정도
	지형보전·복구면적	0.424	서식지 질에 대한 간접적 추정방식

- 위의 설문결과를 참고하여 아래 제시된 두 가지 지표를 비교하였을 때 상대적으로 더 중요하다고 생각되는 한 곳을 선택하여 표기하여 주시기 바랍니다.

A	절대 중요		매우 중요		중요		약간 중요		같은		약간 중요		중요		매우 중요		절대 중요	B
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
서식규모의 안정성																		서식공간의 이질성
서식규모의 안정성																		지형보전·복구면적
서식공간의 이질성																		지형보전·복구면적

2. 생태계서비스에 대한 상대적 중요도

- 생태계서비스는 공급, 조절, 지원, 문화서비스로 구분됩니다.

구분	1차 전문가 설문(AHP) 결과	평가목적
공급서비스	0.258	인간이 직접 이용할 수 있도록 물질적 편익을 제공하는 생태계의 기능 평가
조절서비스	0.394	인간의 생활에 피해를 주는 요소를 저감시키는 생태계의 기능 평가
지원서비스	0.233	인간 이외 생물의 생존에 적합한 환경을 제공하는 생태계의 기능 평가
문화서비스	0.115	인간이 생태계를 인식하고 이용할 수 있도록 비물질적 편익을 제공하는 생태계의 기능 평가

- 위의 설문결과를 참고하여 아래 제시된 두 가지 서비스를 비교하였을 때 상대적으로 더 중요하다고 생각되는 한 곳을 선택하여 표기하여 주시기 바랍니다.

A	절대 중요		매우 중요		중요		약간 중요		같은		약간 중요		중요		매우 중요		절대 중요	B
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
공급서비스																		조절서비스
공급서비스																		지원서비스
공급서비스																		문화서비스
조절서비스																		지원서비스
조절서비스																		문화서비스
지원서비스																		문화서비스

※ 일반사항에 관한 질문입니다.

1. 귀하의 전공분야는 무엇입니까?

- ① 조경관련 분야 ② 환경관련 분야 ③ 생태관련 분야
④ 건설관련 분야 ⑤ 도시관련 분야 ⑥ 기타()

2. 귀하의 전문분야 경력은 어느 정도 되십니까?

- ① 5년 미만 ② 5년~10년 ③ 11~15년 ④ 16~20년 ⑤ 21년 이상

3. 귀하가 종사하시는 기관은 무엇입니까?

- ① 정부 ② 연구소 ③ 교육기관(대학) ④ 민간기업 ⑤ 기타()

- 설문에 응해주셔서 대단히 감사합니다. -

부록 6. 현행 환경영향평가에 생태계서비스 평가의 적용방안

본 연구에서 제시한 생태계서비스 평가모형으로 개발사업을 평가하기 위해 생태계서비스 평가지표별 환경영향평가 단계별 고려사항에 대하여 제시하였다. 생태계서비스 평가와 환경영향평가는 평가목적과 평가내용 측면에서 서로 상이하지만 현재 제도 내에서 두 평가를 비교해 보기 위해 생태계서비스의 20개 평가지표와 환경영향평가의 6개 분야 21개 항목을 비교하였다(표 부록1).

표 부록 1. 생태계서비스 평가지표와 현행 환경영향평가 항목과 연계

생태계서비스 평가		환경영향평가		
평가항목	평가지표	분야	항목	검토사항
식량	농산물생산량	토지환경	토지이용	농경지 면적과 농산물생산량 추가
용수	침투량	수환경	수리수문	토양도, 토양의 수문학적 특성 관련 내용 추가
바이오매스	식물현존량	자연생태환경	동.식물상	바이오매스량 조사 추가
생물자원	생태1·2등급권역			생태자연도 이용(기존과 동일)
대기정화조절	대기오염물질 흡수량	대기환경	대기질	식생의 대기오염 정화기능 고려
기후조절	수·녹지면적	대기환경	기상	생태계의 미기후 조절기능 고려
	탄소저장량	대기환경	온실가스	식생과 토양의 이산화탄소 저감 기능 고려
자연재난완화	활엽수·혼효림면적	토지환경	토지이용	산사태와 홍수 억제기능 고려
가뭄조절	투수성지반면적	수환경	수질	물순환 기능 고려
자연정화조절	수질오염정화능			자연친화적 우수처리 기능 고려
침식조절	완경사지피복면적	토지환경	지형·지질	토양의 침식조절기능 고려
서식지 제공	서식지규모의 안정성	자연생태환경	동.식물상	서식지 패치의 규모 추가
	서식공간의 이질성			서식지 패치의 이질적 특성 조사 강화
	지형보전·복구면적			서식공간의 자연성, 훼손지 조사 강화
경관	경관미	생활환경	경관	자연경관의 보유 최대화 고려
레크리에이션	레크리에이션 활동공간면적	생활환경	위락	오픈스페이스의 레크리에이션 기능과 규모 고려
	분산도			레크리에이션 공간의 분포형태 고려
	다양성			레크리에이션 공간의 종류 고려
교육	근접성			교육시설에 인접한 교육공간 고려
	잠재성			교육공간의 종류 고려

각 지표별 생태계서비스 향상방안을 접목할 수 있는 환경영향평가 항목과 연결하고 생태계서비스 평가를 하기 위해 환경영향평가에서 고려하지 않아 개선 또는 보완이 필요한 사항들을 도출하였다. 생태계서비스 평가지표들은 5개 분야 10개 환경영향평가 항목으로 연결할 수 있었고 하나의 항목에 하나 이상의 지표들이 연결되었다. 환경영향평가의 항목과 내용은 「환경영향평가서 작성 등에 관한 규정(환경부고시 제2012-112(2012.6.30)호)」을 바탕으로 비교하였다. 생태1·2등급 권역의 생태계서비스 평가지표 이외 대부분 환경영향평가 항목의 내용들은 개선 또는 보완을 통해 생태계서비스 평가가 가능한 것으로 나타났다. 특히, 환경영향평가에서 서식지와 기능적 측면에 대한 고려가 중요한 부분으로 나타났다.

구체적인 환경영향평가의 개선사항은 환경영향평가 분야별 평가항목에서 평가진행단계인 현황조사, 영향예측, 저감방안, 사후환경영향조사의 4단계에 따라 생태계서비스 평가지표 각각에 대하여 제시하였다.

① 대기환경분야의 항목별 고려사항

대기환경분야 환경영향평가 항목은 기상, 대기질과 온실가스가 해당된다(표 부록-2). 기상항목과 연결되는 생태계서비스 평가지표는 기후조절 항목의 수·녹지면적이다. 현재 환경영향평가에서 생태계의 미기후 조절기능을 고려하여 환경영향평가를 실시한다. 현황조사에서 개발 전 상태를, 영향예측에서는 개발 후 수체와 식생과 토양의 미기후 조절능을 고려하여 변화량의 예측결과를 제시한다. 서비스 증진방안은 미기후 조절능이 증가할 수 있도록 수공간과 녹지공간계획을 수립하며, 개발 후 수공간 및 녹지공간 조사를 통해 서비스 증진방안에 대한 이행을 확인할 수 있을 것이다.

대기질과 연결되는 생태계서비스 평가지표는 대기정화조절 항목의 대기오염물질 흡수량이다. 현재 환경영향평가에서 식생의 대기오염 정화기능을 고려하여 환경영향평가를 실시한다. 단계별로 살펴보면, 현황조사에서 개발 전 상태를, 영향예측에서는 개발 후 식생의 대기오염물질 흡수량에 대한 변화량의 예측결과를 제시한다. 서비스 증진방안은 대기오염물질 흡수량이 증가할 수 있도록 식재지역과

표 부록 2. 대기환경분야에서 생태계서비스 평가와 연계를 위한 환경영향평가 단계별 고려사항

제안항목	제안내용	환경영향평가 단계별 고려사항 ¹⁾	생태계서비스 평가지표
기상	생태계의 미기후 조절기능 고려	① 대상지역의 국지기상 조사 병행 ② 개발 전·후의 수체와 식생과 토양의 미기후 조절능을 고려한 변화량 예측결과 제시 ③ 미기후 조절능이 증가하도록 수공간과 녹지공간계획 수립 ④ 국지기상, 수공간과 녹지공간의 조사 등을 통해 생태계서비스 증진방안 이행 확인	수·녹지면적
대기질	식생의 대기오염 정화기능 고려	① 대기오염물질의 종류와 현황농도 조사(기존과 동일) ② 개발 전·후의 식생의 대기오염정화능 변화량의 예측결과 제시 ③ 대기오염정화능이 증가하도록 식재지역과 식재계획수립 ④ 대기오염물질의 농도와 식생현황조사 등을 통해 서비스 증진방안 이행 확인	대기오염물질 흡수량
온실가스	식생과 토양의 이산화탄소 저감기능 고려	① 온실가스 저감을 위한 식생(교목활엽수, 교목침엽수, 관목활엽, 관목침엽수) 개체수 조사(추정), 토지유형별 토양탄소저장량 산정 ② 개발 전·후의 식생과 토양의 탄소저장변화량 예측결과 제시 ③ 탄소저장량이 증가하도록 식재계획과 토지이용계획수립 ④ 식생조사와 토지이용 조사 등을 통해 증진방안 이행 확인	탄소저장량

주1) 환경영향평가 단계: ①현황조사, ②영향예측, ③서비스 증진방안, ④사후환경영향조사
식재계획을 수립하며, 개발 후 식생조사를 통해 서비스 증진방안에 대한 이행을 확인할 수 있을 것이다.

온실가스와 연결되는 생태계서비스 평가지표는 기후조절 항목의 탄소저장량이다. 현재 환경영향평가에서 식생과 토양의 이산화탄소 저감 기능을 고려하여 환경영향평가를 실시한다. 단계별로 살펴보면, 현황조사에서 개발 전 온실가스 저감을 위해 교목과 관목의 활엽수와 침엽수에 대한 식생 개체수를 추정 조사하여 식생의 탄소저장량을 산정하고, 토지유형별 토양 탄소의 저장량을 산정한다. 영향예측에서는 개발 후 식생과 토양의 탄소저장 변화량 예측결과를 제시한다. 서비스 증진방안은 탄소저장량이 증가할 수 있도록 식재계획과 토지이용계획을 수립하며,

개발 후 식생조사와 토지이용조사를 통해 서비스 증진방안에 대한 이행을 확인할 수 있을 것이다.

② 수환경분야의 항목별 고려사항

수환경분야 환경영향평가 항목은 수질과 수리수문이 해당된다(표 부록 3). 수질항목과 연결되는 생태계서비스 평가지표는 가뭄조절 항목의 투수성지반면적과 자연정화조절 항목의 수질오염정화능이다. 현재 환경영향평가에서 생태계의 물순환기능과 자연친화적 오수처리기능을 고려하여 환경영향평가를 실시한다. 단계별로 살펴보면, 현황조사에서 개발 전 물순환 기능을 하는 투수성지반면적 현황, 자연정화기능을 하는 하천과 습지면적의 현황을 추가한다. 영향예측에서는 개발 후

표 부록 3. 수환경분야에서 생태계서비스 평가와 연계를 위한 환경영향평가 단계별 고려사항

제안항목	제안내용	환경영향평가 단계별 고려사항 ¹⁾	생태계서비스 평가지표
수질	물순환기능 고려	① 물순환 기능을 하는 투수성지반 면적 현황 추가 ② 개발 전·후의 투수성지반면적 변화 예측결과 제시 ③ 물순환 기능이 증가하도록 투수성지반의 토지이용지역 확대 ④ 투수성지반면적 현황 조사를 통해 생태계서비스 증진방안 이행 확인	투수성지반 면적
	자연친화적 오수처리 기능 고려	① 자연정화기능을 하는 하천과 습지면적 현황 추가 ② 개발 전·후의 하천과 습지면적 변화의 예측결과, 개발 후 자연형 비점오염처리시설 처리요양과 처리효율 제시 ③ 자연정화기능이 증가하도록 하천과 습지의 조성, 자연형 비점오염저감시설의 설치계획 수립 ④ 하천과 습지, 자연형 비점오염저감시설의 처리능 조사를 통해 증진방안 이행 확인	수질오염 정화능
수리수문	토양도, 토양의 수문학적 특성 관련 내용 추가	① 강수량, 유출량, 침투량 조사, 그리고 토양도, 토양의 수문학적 특성, 토지이용분류에 따른 CN값을 조사 ② 개발 전·후의 우수유출량 변화, 침투량 변화의 예측결과 제시 ③ 침투량이 증가하여 물의 이용량을 높일 수 있도록 토지이용지역 확대 ④ 침투량 조사 등을 통해 서비스 증진방안 이행 확인	침투량

주1) 환경영향평가 단계: ①현황조사, ②영향예측, ③서비스 증진방안, ④사후환경영향조사

투수성지반면적과 하천 및 습지면적의 변화를 예측하여 제시한다. 자연형 비점오염처리시설 계획이 있을 경우 영향예측단계에서 평가지표의 선정방법에서 제시한 처리효율을 반영한다. 서비스 증진방안은 물순환 기능이 증가할 수 있도록 투수성지반의 토지이용지역을 확대하고, 자연정화기능이 증가할 수 있도록 하천과 습지의 조성, 자연형 비점오염저감시설의 처리효율을 높일 수 있는 설치계획을 수립한다. 개발 후 투수성지반면적 현황조사, 하천과 습지, 그리고 자연형 비점오염저감시설의 처리능 조사를 통해 서비스 증진방안에 대한 이행을 확인할 수 있을 것이다.

수리수문과 연결되는 생태계서비스 평가지표는 용수 항목의 침투량이다. 현재 환경영향평가에서 물이 머무르거나 침투될 수 있는 토양의 수문학적 특성을 고려하여 환경영향평가를 실시한다. 단계별로 살펴보면, 현황조사에서는 개발 전의 강수량, 유출량, 그리고 침투량을 산정하고, 대상지의 토양도와 토양의 수문학적 특성을 조사하여 토지이용분류에 따른 CN값을 산정한다. 영향예측에서는 개발 후 우수유출량 변화와 침투량 변화의 예측결과를 제시한다. 서비스 증진방안은 침투량이 증가하여 물 이용량을 높일 수 있도록 토지이용지역을 확대한다. 개발 후 침투량 조사를 통해 서비스 증진방안에 대한 이행을 확인할 수 있을 것이다.

③ 토지환경분야의 항목별 고려사항

토지환경분야 환경영향평가 항목은 토지이용과 지형·지질이 해당된다(표 부록 4). 토지이용 항목과 연결되는 생태계서비스 평가지표는 식량 항목의 농산물생산량과 자연재난완화 항목의 활엽수·혼효림면적이다. 현재 환경영향평가에서 생태계의 농산물 생산기능과 산사태와 홍수 역지기능을 고려하여 환경영향평가를 실시한다. 단계별로 살펴보면, 현황조사에서는 사업 대상지의 토지이용현황에 농경지 면적과 함께 식량작물, 채소류, 특용작물 등 농산물 생산량을 추가한다. 그리고 동·식물상 자료를 활용하여 활엽수와 혼효림지역 면적 자료도 추가한다. 영향예측에서는 개발 후 농산물생산량의 변화와 활엽수와 혼효림 지역 변화의 예측결과를 제시한다. 서비스 증진방안은 녹지공간 또는 오픈스페이스 공간에 농경지

표 부록 4. 토지환경분야에서 생태계서비스 평가와 연계를 위한 환경영향평가 단계별 고려사항

제안항목	제안내용	환경영향평가 단계별 고려사항 ¹⁾	생태계서비스 평가지표
토지이용	농경지면적 과 농산물 생산량 추가	① 사업지구의 토지이용 현황에 농경지 면적과 식량작물, 채소류, 특용작물 등 농산물 생산량 추가 ② 개발 후 농산물생산량 예측결과 제시(개발 후 제로 상태가 되지 않도록 고려) ③ 녹지공간에 농경지/텃밭 조성을 위한 토지이용계획을 구체적으로 수립 ④ 농산물생산량 조사 등을 통해 서비스 증진방안 이행 확인	농산물생산량
	산사태와 홍수 억지기능 고려	① 토지이용 현황에 식생(활엽수, 혼효림) 지역 조사(동식물상 자료 이용) ② 개발 전·후의 식생지역의 면적변화 예측결과 제시 ③ 자연재난(산사태와 홍수) 완화기능이 증가하도록 식재지역과 식재계획 수립 ④ 식생지역조사 등을 통해 서비스 증진방안 이행 확인	활엽수· 혼효림 면적
지형· 지질	토양의 침식조절 기능 고려	① 경사도와 토지이용현황 조사, 경사도 10° 이하 환경사지와 피복지역의 중첩 조사 ② 개발 전·후의 환경사지에 피복된 지역변화의 예측결과 제시 ③ 침식조절기능이 증가할 수 있도록 환경사지에 식재계획 수립 ④ 환경사지의 피복된 지역조사를 통해 서비스 증진방안 이행 확인	환경사지피복 면적

주1) 환경영향평가 단계: ①현황조사, ②영향예측, ③서비스 증진방안, ④사후환경영향조사

나 텃밭 조성을 위한 토지이용계획을 수립하고, 산사태와 홍수 등 자연재난완화 기능이 증가하도록 식재지역과 식재계획을 수립한다. 개발 후 농산물생산량 조사와 식생지역조사를 통해 서비스 증진방안에 대한 이행을 확인할 수 있을 것이다.

지형·지질과 연결되는 생태계서비스 평가지표는 침식조절 항목의 환경사지 피복면적이다. 현재 환경영향평가에서 토양의 침식조절기능을 고려하여 환경영향평가를 실시한다. 단계별로 살펴보면, 현황조사에서 대상지의 경사도와 토지이용현황을 조사하고 경사도 10° 이하 환경사지이면서 피복지역이 중첩된 지역의 면적과 토지피복조건에 따른 토양유실률을 조사한다. 영향예측에서는 개발 후 환경사지에 피복된 지역의 변화에 대해 예측한 결과를 제시한다. 서비스 증진방안은

침식조절기능이 증가할 수 있도록 환경사지역에 식재계획을 수립한다. 개발 후 환경사지역에 피복된 지역의 조사를 통해 서비스 증진방안에 대한 이행을 확인할 수 있을 것이다.

④ 자연환경분야의 항목별 고려사항

자연환경분야 환경영향평가 항목은 동·식물상이 해당된다(표 부록 5). 동·식물상 항목과 연결되는 생태계서비스 평가지표는 공급서비스에 속하는 바이오매스 항목의 식물현존량과 생물자원 항목의 생태1·2등급권역이 있고, 그리고 지원서비스에 속하는 서식지 제공 항목의 서식규모의 안정성, 서식공간의 이질성, 지형보전·복구면적의 6개로 해당되는 지표가 가장 많았다. 현재 환경영향평가에서 바이오매스량의 조사, 대상지내 개별 서식공간인 서식지 패치의 규모와 이질적인 특성 조사를 추가하고 서식공간의 자연성과 훼손지 조사를 강화하여 환경영향평가를 실시한다.

단계별로 살펴보면, 현황조사에서 식생현황자료를 기반으로 바이오매스량 조사를 추가하고, 생태자연도 및 생태계 현황조사를 실시하며, 서식지와 관련하여 서식지 패치의 크기와 개수, 전체 서식지 패치의 이질적 특성과 인접하여 있는 서식지패치의 특성, 서식지의 자연성과 훼손지 현황을 조사한다. 영향예측에서는 개발 후 바이오매스량의 변화와 생태자연도 변화에 대한 예측결과를 제시한다. 서식지 관련하여 개발 후 서식지 패치의 크기와 개수의 변화, 전체 및 인접 서식지의 이질적인 특성 변화, 그리고 자연지역과 훼손지역의 변화에 대한 예측결과를 제시한다. 여기에 추가하여 분류군별 생물들의 현황조사자료를 토대로 생존가능한 서식지의 최소 규모와 서식지 파편화 정도를 고려하여 서식지 패치의 형태 변화, 서식지에 미치는 영향을 예측한 결과도 제시한다. 서비스 증진방안으로는 바이오매스량을 높일 수 있도록 식생보존 또는 식재계획을 수립한다. 보존가치가 있는 지역에 대해서는 원형보전계획을 수립한다. 대상지역에 서식하는 생물의 생존에 미치는 영향을 최소화할 수 있도록 서식공간의 규모를 유지하거나 조성하고 다양한 특성을 가진 서식지 패치가 인접하도록 토지이용계획을 수립한다. 그리고

표 부록 5. 자연환경분야에서 생태계서비스 평가와 연계를 위한 환경영향평가 단계별 고려사항

제안항목	제안내용	환경영향평가 단계별 고려사항 ¹⁾	생태계서비스 평가지표
동·식물상	바이오매스 량 조사 추가	① 식물상 현황 조사에서 바이오매스량의 조사 추가 * 식생현황자료를 기반으로 바이오매스량 추정방법 개발 ② 개발 전·후의 바이오매스량 변화의 예측결과 제시 ③ 바이오매스량을 높일 수 있도록 식생보존 또는 식재계획 수립 ④ 바이오매스량의 추정 식생조사 등을 통해 서비스 증진방안 이행 확인	식물현존량
	생태자연도 3등급지역 위주의 사업대상지 선정	① 생태자연도 및 생태계 현황 조사 이용(기존과 동일) ② 개발 전·후의 생태자연도 변화의 예측결과 제시 ③ 보전가치 있는 지역의 원형보전계획 수립 ④ 원형보전지역 조사 등을 통해 서비스 증진방안 이행 확인	생태1·2등급 권역
	서식지 패치의 규모 조사 추가	① 서식지 패치의 크기와 개수 조사 추가 ② 개발 전·후의 서식지 패치의 크기와 개수의 예측결과, 서식지 패치의 형태변화, 서식지에 미치는 영향을 예측한 결과 제시 * 분류군별 생물들의 현황조사자료를 토대로 생존 가능한 서식지의 최소 규모와 서식지 파편화 정도 고려 ③ 대상지역에 서식하는 생물의 생존에 미치는 영향을 최소화하도록 서식 공간의 규모 유지 또는 조성 ④ 생물종과 서식지 패치의 규모를 확인하여 서비스 증진방안 이행 확인	서식규모의 안정성
	서식지 패치의 이질적 특성 조사 강화	① 전체 서식지 패치의 이질적 특성, 인접하여 있는 서식지 패치의 이질적 특성 조사 ② 개발 전·후의 서식지 패치의 이질적인 특성 변화에 대한 예측결과 제시 ③ 다양한 특성을 가진 서식지 패치가 인접하도록 토지이용계획 수립 ④ 서식지 패치의 특성과 패치간 거리조사 등을 통해 서비스 증진방안 이행 확인	서식공간의 이질성
	서식공간의 자연성, 훼손지 조사 강화	① 생물 서식지의 자연성과 훼손지 현황 조사 ② 개발 전·후의 자연지역과 훼손지역 변화 예측결과 제시 ③ 자연지역은 보전, 훼손지는 복구계획 수립 ④ 원형보전지역과 복구지역 조사 등을 통해 서비스 증진방안 이행 확인	지형보전·복구 면적

주1) 환경영향평가 단계: ①현황조사, ②영향예측, ③서비스 증진방안, ④사후환경영향조사

기본적으로 자연지역은 보전하고 훼손지는 복구계획을 수립한다. 개발 후 서비스 증진방안의 이행확인은 바이오매스량을 추정하는 식생조사와 원형보전지역 등을 조사하고, 생물종과 서식지 패치의 규모를 확인하며 서식지 패치의 특성과 패치 간의 거리를 조사하고 원형보전지역과 복구지역을 확인할 수 있을 것이다.

⑤ 생활환경분야의 항목별 고려사항

생활환경분야 환경영향평가 항목은 위락과 경관이 해당된다(표 부록 6). 위락 항목과 연결되는 생태계서비스 평가지표는 문화서비스에서 레크리에이션 항목의 레크리에이션 활동공간면적, 분산도와 다양성, 그리고 교육 항목의 근접성과 잠재성이다. 현재 환경영향평가에서 오픈스페이스의 레크리에이션 기능, 레크리에이션 활동공간의 분산도와 다양성을 고려하고, 교육시설과 인접한 교육공간 및 교육공간의 종류를 고려하여 환경영향평가를 실시한다.

단계별로 살펴보면, 현황조사에서는 대상지 내 레크리에이션 공간과 공간의 규모, 공간의 분포, 공간의 각 패치 크기와 형태를 조사하고, 교육시설과 교육공간의 거리, 교육공간의 크기, 교육공간의 특성에 따른 종류를 조사한다. 영향예측에서는 개발 후 레크리에이션 공간규모의 변화, 공간분포의 변화, 공간의 각 패치 변화를 예측하여 결과를 제시한다. 그리고 교육시설과 교육공간의 거리 및 교육공간의 크기 변화와 특성 변화를 예측한 결과를 제시한다. 서비스 증진방안은 이용가능한 레크리에이션 공간규모의 증가방안, 레크리에이션 공간의 분산 분포와 크고 작은 공간의 고른 배치계획을 수립한다. 또한 교육시설에 인접한 교육공간의 크기를 확대하고 교육공간의 특성을 달리한 계획을 수립한다. 개발 후 레크리에이션 공간규모, 공간의 분산 정도와 다양성 정도를 확인하고, 교육시설과 인접한 교육공간의 규모와 교육공간의 잠재성 정도에 대한 조사를 통해 서비스 증진방안에 대한 이행을 확인할 수 있을 것이다.

경관항목과 연결되는 생태계서비스 평가지표는 경관미이다. 현재 환경영향평가에서 자연경관을 최대한 보유하도록 고려하면서 환경영향평가를 실시한다. 단계별로 살펴보면, 현황조사에서는 기존과 마찬가지로 대상지 중경에서 자연경관과

표 부록 6. 생활환경분야에서 생태계서비스 평가와 연계를 위한 환경영향평가 단계별 고려사항

제안항목	제안내용	환경영향평가 단계별 고려사항 ¹⁾	생태계서비스 평가지표
위락	오픈 스페이스의 레크리에이션 기능 고려	① 레크리에이션 공간과 공간의 규모 조사 ② 개발 전·후의 레크리에이션 공간규모 변화의 예측 결과 제시 ③ 이용가능한 레크리에이션 공간규모의 증가 방안 수립 ④ 레크리에이션 공간규모의 조사 등을 통해 서비스 증진방안 이행 확인	레크리에이션 활동공간면적
	레크리에이션 활동공간의 분산도 고려	① 레크리에이션 공간의 분포 조사 ② 개발 전·후의 레크리에이션 공간 분포 변화의 예측 결과 제시 ③ 이용가능한 레크리에이션 공간이 고루 분포하도록 공 간계획 수립 ④ 레크리에이션 공간의 분산정도를 확인하여 서비스 증진방안 이행 확인	분산도
	레크리에이션 활동공간의 다양성 고려	① 레크리에이션 공간 각 패치의 크기와 형태 조사 ② 개발 전·후의 레크리에이션 공간 각 패치으 형태 변화의 예측결과 제시 ③ 레크리에이션이 가능한 크고 작은 공간의 고른 배치 계획 수립 ④ 레크리에이션 공간의 다양성 정도를 확인하여 서비 스 증진방안 이행 확인	다양성
	교육시설과 인접한 교육공간의 고려	① 교육시설과 교육공간의 거리, 교육공간의 크기 조사 ② 개발 전·후의 교육시설과 교육공간의 거리 및 교 육공간의 크기 변화에 대한 예측결과 제시 ③ 교육시설에 인접한 교육공간의 크기를 확대할 수 있는 계획 수립 ④ 교육시설 인접한 교육공간의 규모를 확인을 통해 서비스 증진방안 이행 확인	근접성
	교육공간의 종류 고려	① 교육공간의 특성에 따른 종류 조사 ② 개발 전·후의 교육 공간의 특성변화를 예측한 결 과 제시 ③ 교육공간의 특성을 달리하는 계획 수립 ④ 교육공간의 잠재성 정도를 확인하여 서비스 증진방 안 이행 확인	잠재성
경관	자연경관의 보유 최대화 고려	① 대상지 중경의 자연경관과 조망경관 조사(기존과 동일) ② 개발 전·후의 자연경관 변화의 예측결과 제시 ③ 자연경관을 최대한 살리도록 조정 또는 방안 수립 ④ 중경 변화를 확인하여 서비스 증진방안 이행 확인	경관미

주1) 환경영향평가 단계: ①현황조사, ②영향예측, ③서비스 증진방안, ④사후환경영향조사

조망경관을 조사하고 사진을 촬영한다. 영향예측에서는 개발 전·후 자연경관의 변화를 예측한 결과를 시뮬레이션을 통해 제시한다. 서비스 증진방안은 자연경관을 최대한 유지하도록 조정 방안을 수립한다. 개발 후 경관변화의 확인을 통해 서비스 증진방안에 대한 이행을 확인할 수 있을 것이다.

부록 7. 사례대상지구의 생태계서비스 평가지표 산정

1. 농산물생산량

1) 개발 전

구분	식량작물(1) 생산량	식량작물(2), 채소류 생산량	농산물생산량
서울서초	<ul style="list-style-type: none"> · 19.8ha×4.8t/ha=95.04t · 답의 면적=198,188m²=19.8ha 	<ul style="list-style-type: none"> · 전의 면적=76,324m²=7.6ha · 식량작물(2) : 채소류=0.91ha : 6.72ha · 식량작물(2) 단위 면적당 생산량=0.91ha×2.8t/ha = 2.5t · 채소류 단위 면적당 생산량=6.72ha×46.5t/ha=312.4t 	<ul style="list-style-type: none"> · 95.04+2.5+312.4=409.9t
서울내곡	<ul style="list-style-type: none"> · 34.7ha×4.8t/ha=166.3t · 답의 면적= 347,000m²=34.7ha 	<ul style="list-style-type: none"> · 전의 면적=191,000m²=19.1ha · 식량작물(2) : 채소류=2.27ha : 16.83ha · 식량작물(2) 단위 면적당 생산량=2.27ha×2.8t/ha=6.3t · 채소류의 단위 면적당 생산량=16.83ha×46.5t/ha=781.7t 	<ul style="list-style-type: none"> · 166.3+6.3+781.7=954.4t
고양원흥	<ul style="list-style-type: none"> · 49.3ha×4.57t/ha=225.2t · 답의 면적= 493,000m²=49.3ha 	<ul style="list-style-type: none"> · 전의 면적=128,000m²=12.8ha · 식량작물(2) : 채소류 : 특용작물=1.92ha : 10.84ha : 0.04ha · 식량작물(2) 단위 면적당 생산량=1.92ha×7t/ha = 13.5t · 채소류 단위 면적당 생산량=10.84ha×29.4t/ha=318.7t · 특용작물 단위 면적당 생산량=0.04ha×48t/ha=1.7t 	<ul style="list-style-type: none"> · 225.2+13.5+318.7+1.7=559.1t
하남감일	<ul style="list-style-type: none"> · 32.8ha×4.9t/ha=161.3t · 답의 면적= 328,000m²=32.8ha 	<ul style="list-style-type: none"> · 전의 면적=246,000m²=24.6ha · 식량작물(2) : 채소류=4.07ha : 20.53ha · 식량작물(2) 단위 면적당 생산량=4.07ha×5.8t/ha=23.5t · 채소류 단위 면적당 생산량=20.53ha×19.9t/ha=409.2t 	<ul style="list-style-type: none"> · 161.3+23.5+409.2=594t

* 식량작물(1), 식량작물(2), 채소류, 특용작물의 단위면적당 생산량은 표 IV-6 참조

2) 개발 후

- 대상지구 모두 전, 답의 면적 0, 농산물생산량은 0로 가정함

2. 침투량

1) 개발 전

구분	확률강우량	강수량	유출량	침투량
서울서초	·280.6mm	·101,439천㎥	·67,567천㎥	·33,872천㎥
서울내곡	·280.6mm	·212,792천㎥	·150,802천㎥	·61,990천㎥
고양원흥	·282mm	·363,009천㎥	·259,394천㎥	·103,616천㎥
하남감일	·280.6mm	·473,076천㎥	·349,596천㎥	·123,480천㎥

2) 개발 후

구분	확률강우량	강수량	유출량	침투량
서울서초	·280.6mm	·101,439천㎥	·69,007천㎥	·33,872천㎥
서울내곡	·280.6mm	·212,792천㎥	·155,721천㎥	·61,990천㎥
고양원흥	·282mm	·363,009천㎥	·273,317천㎥	·103,616천㎥
하남감일	·280.6mm	·473,076천㎥	·353,943천㎥	·123,480천㎥

3. 생태1·2등급권역

1) 개발 전

(단위: 천㎥)

구분	생태자연도 2등급지역	생태자연도 3등급지역	원형보전지역	생태1·2등급권역
서울서초	·0	·361.9	·0	·0×1.5+361.9×1+0×1.2=361.9
서울내곡	·83.4	·685.6	·0	·83.4×1.5+685.6×1+0×1.2=810.7
고양원흥	·318.8	·968.5	·0	·318.8×1.5+968.5×1+0×1.2=1,466.6
하남감일	·286.8	·1,401.5	·0	·286.8×1.5+1,401.5×1+0×1.2=1,831.7

2) 개발 후

(단위: 천㎥)

구분	생태자연도 2등급지역	생태자연도 3등급지역	원형보전지역	생태1·2등급권역
서울서초	·0	·361.9	·0	·0×1.5+361.9×1+0×1.2=361.9
서울내곡	·83.4	·685.6	·107.4	·83.4×1.5×1.2+23.9×1.2+661.6×1=840.5
고양원흥	·0	·1,287.3	·0	·0×1.5+1,287.3×1+0×1.2=1,287.3
하남감일	·0	·1,688.3	·0	·0×1.5+1,688.3×1+0×1.2=361.9

4. 투수성지반면적

1) 개발 전

(단위: 천㎡)

구분	임야면적	전 면적	답 면적	하천면적	투수성지반면적
서울서초	·5,733	·76,324	·198,188	·6,508	· $5,733 \times 1 + (76,324 + 198,188) \times 0.8 + 6,508 \times 1 = 231,851$
서울내곡	·113,000	·191,000	·347,000	·27,934	· $113,000 \times 1 + (191,000 + 347,000) \times 0.8 + 27,934 \times 1 = 571,334$
고양원흥	·414,000	·463,000	·128,000	·31,325	· $414,000 \times 1 + (493,000 + 128,000) \times 0.8 + 85,000 \times 0.1 + 31,325 \times 1 = 950,625$
하남감일	·409,000	·246,000	·328,000	·116,000	· $409,000 \times 1 + (246,000 + 328,000) \times 0.8 + 116,000 \times 0.1 = 879,800$

* 고양원흥지구는 대지면적 85,000천㎡ 포함

2) 개발 후

(단위: 천㎡)

구분	하천, 녹지면적	공원의 식재면적	공원면적-식재면적	교육시설 면적	생태1·2등급권역
서울서초	·17,290+33,320	·24,703	·42,105-24,703	·11,000	· $17,290 \times 1 + 33,320 \times 1 + 24,703 \times 1 + (42,105 - 24,703) \times 0.7 + 11,000 \times 0.3 = 90,794$
서울내곡	·48,047+137,569	·30,925	·125,795-30,925	·25,245	· $48,047 \times 1 + 137,569 \times 1 + 30,925 \times 1 + (125,795 - 30,925) \times 0.7 + 25,245 \times 0.3 = 290,524$
고양원흥	·6,759+121,349	·134,774	·224,500-134,774	·56,184	· $6,759 \times 1 + 121,349 \times 1 + 134,774 \times 1 + (224,500 - 134,774) \times 0.7 + 56,184 \times 0.3 = 342,545$
하남감일	·62,463+90,315	·197,435	·325,633-197,435	·79,546	· $62,463 \times 1 + 90,315 \times 1 + 197,435 \times 1 + (325,633 - 197,435) \times 0.7 + 79,546 \times 0.3 = 463,815$

5. 수질오염정화능

1) 개발 전

(단위: ㎡)

구분	대상지면적	하천면적	수질오염정화능
서울서초	·361,948.7	·6,508	· $6,508 / 361,948.7 = 0.018$
서울내곡	·769,000	·27,934	· $27,934 / 769,000 = 0.036$
고양원흥	·1,287,262.9	·31,325	· $31,325 / 1,287,262.9 = 0.024$
하남감일	·1,688,319	·0	· $0 / 1,688,319 = 0$

2) 개발 후

(단위: ㎡)

구분	하천면적+습지면적	자연형 비점오염저감시설 효율가중치	수질오염정화능
서울서초	·17,290+7,020	·0	· $(17,290 + 7,020) / 361,948.7 = 0.067$
서울내곡	·43,957+4,090+2,000	·0	· $(43,957 + 4,090 + 2,000) / 769,000 = 0.065$
고양원흥	·6,759	·1.2	· $6,759 / 1,287,262.9 \times 1.2 = 0.006$
하남감일	·23,709	0·	· $23,709 / 1,688,319 = 0.014$

Abstract

The Development and Application of Ecosystem Services Assessment Model for Housing Site Development Projects

- The case study on 4 Bogeumjari Residential Areas -

Meehyun Koo

Interdisciplinary Doctoral Program in Landscape Architecture,
Graduate School, Seoul National University

Supervised by Professor Dong-Kun Lee

Ecosystem services can be defined as various benefits given to human beings by maintaining the ecosystem well. Ecosystem services not only support a human's life to be maintained in agreement with the nature but also play important roles to improve the quality of life. If the ecosystem is damaged by the development, the benefits from the ecosystem decrease, resulting in the quality of human life to decrease as well. Because the damages of the ecosystem are usually caused by the development project, it is necessary to prepare the way to reduce the damage of the ecosystem from the establishment stage of the development plan. Increasing the quality of the residential areas' ecosystem is one of the ways that are definitely required for a pleasant life in the viewpoint of the ecosystem services. By recognizing this point, the environmental impact assessment system has been adopted in Korea in 1977 to predict the environmental impact in advance according to the development and to reduce the damage of the ecosystem. However, there have been limitations in properly

assessing the environment impact only by managing the environmental impact assessment system. If the way to assess the ecosystem services of the target residential areas for the development is included in the environmental impact assessment step conducted by targeting the development project, it is expected that the problem could be somewhat solved.

The purpose of this study is to predict the condition change of the ecosystem services that could be changed by the housing site development and to develop the model that can quantitatively assess that change. For this: first, we try to draw the ecosystem services assessment that is appropriate for the target housing site development and develop the assessment indicators. Second, we try to develop the assessment model that can analyze the condition change of the ecosystem services before and after the development and analyze by applying this to the example target place. Third, we try to suggest a way connected to the environmental impact assessment for the effectiveness of the ecosystem services assessment. This type of assessment model is not only the passive means that defends the decrease of the ecosystem services that are inevitably caused by the earth development but also the active means that promotes the improvement and enlargement of the ecosystem services. Therefore, if this assessment model is adequately utilized, it is expected to contribute to create the value of the ecosystem in general areas.

The subject of this study was Bogeumjari Residential Areas, recently conducted in the capital region. The corresponding areas are located in the development-restricted areas, and these areas have a big meaning because they need to be considered about the natural environment and the life quality of urban residents.

This assessment model has four types of effectiveness in assessing the

structures and functions of the ecosystem about the development plan. First, various benefits that the ecosystem can provide to humans were able to be assessed by developing assessment factors and assessment systems about the function of the ecosystem by targeting the development project. Second, by assessing the condition change of the ecosystem services caused by performing the development project before and after the development, this model was structured to analyze the impact of the development project on the ecosystem and supported to easily grasp the factors of the decrease and increase of the ecosystem services. Third, to maintain the ecosystem services at more than the regular standard level by considering the decrease of the ecosystem services according to the development, the same assessment standard was not applied at the assessment step after the development and the distinguishable standard that was applied by reflecting the characteristics depending on the target areas. Lastly, the assessment model could be applied from the environmental impact assessment step of the development project so that it could be used for the development project that promotes to improve the future ecosystem services.

The findings of the study are summarized as follows:

First, the ecosystem services assessment was performed by applying the concept of the ecosystem services in the entire global level to the individual area scale in which the development project was conducted. To understand the overall impact of the development project on the ecosystem services, the comprehensive assessment on all types of provisioning services, regulating services, supporting services, and cultural services was tried.

Second, to understand the condition change of the ecosystem services by the development, 17 assessment items and 20 assessment indicators

were finally selected. 17 assessment items consist of food, biological resources, climate regulations, habitat provisions, recreation, etc.; 20 assessment indicators consist of agricultural products, the first second class in the ecological zoning map, carbon stock, stability of habitat scale, recreation activity space area, etc.

Third, to quantitatively assess the condition change according to the development, the assessment structure of the ecosystem services had the assessment value ranged from -1(negative) to +1(positive) by calculating based on the pre and post assessment method $((B-A)/A)$ about the condition value before (A) and after (B) the development. After the development, if the ecosystem services increased, the value was positive (+); if the ecosystem services decreased, the value was negative (-); if there was no service change, the value was zero (0); through these values, the ecosystem services impact caused by the development could be predicted and assessed.

Fourth, the assessment indicators measurement was calculated by establishing the quantitative method about 20 assessment indicators based on the data that can be used in the environmental impact assessment step of the development project. To understand the condition change before and after performing the housing site development projects, the ecosystem of the inside area was the target to be assessed. The provisioning and regulating services were quantitatively assessed; the supporting services were qualitatively assessed; the cultural services were calculated by the structure analysis method of the ecosystem space that humans can use.

Lastly, to assess the application possibility of the ecosystem services assessment model, it was verified by applying to four Bogeumjari Residential Areas (Seoul Seocho, Seoul Naegok, Goyang Wonheoung, and Hanam Gamil areas). As results, the ecosystem services increased in the

Seoul Seocho area after the development and decreased in the other three areas. In the types of the services, the provisioning services decreased in all four areas; the cultural services increased in all four areas; the regulating and supporting services differently appeared depending on the areas. In the assessment of the ecosystem services about the development plan, the land use plan was important; in the impact according to the development, the regulating services were most influenced.

As a result by applying the ecosystem services assessment model to the four Bogeumjari Residential Areas, the corresponding assessment model was verified that it is appropriate to predict and assess the impact of the housing site development projects on the ecosystem services. In other words, the assessment model reflected the characteristics of the example target areas and the development projects and allowed to understand the characteristics that have positive or negative impact on the ecosystem services before and after the development project. In the aspect of the importance of the comprehensive assessment indicators and impact on the results, five indicators including plant standing crop, the first second class in the ecological zoning map, carbon stock, area of the broad-leaved and mixed forest, and topographical preservation and rehabilitated area were suggested as the indicators that should be considered first in the development plan. This assessment model was suggested as the way connected to the strategic environmental assessment, small-sized environmental impact assessment, and environmental impact assessment system.

The ecosystem services assessment model of this study has the meaning to assess the ecosystem services of the area scale development project by the housing site development projects. When the ecosystem services concept has been established in the entire global level so far, and the

current situation of the research on the ecosystem services assessment and the necessity of the application were examined, the studies about it have been internationally somewhat in progress and have been started in Korea. However, there are few instances of the study targeting the development project in Korea as well as other countries; therefore, this study could suggest the direction about it. In addition, the meaningful point is that the condition change can be grasped through the assessment method about the ecosystem of the general areas because the ecosystem of the target development areas was assessed. Through the pre and post assessment results, it is possible to establish the enhancement method that offsets the decrease of the ecosystem services depending on the areas by reflecting the level of the services' changes. Additionally, various functional aspects as well as the aspect of the use by humans were considered so that these can be applied as the judgment standard about the ecosystem preservation and the wise use in the urban areas.

-
- ☐ **Keywords :** Ecosystem services, Assessment indicators, Ecosystem service assessment, Pre and post assessment method, Environmental impact assessment
- ☐ **Student Number :** 2011-30740